The Story of Western Science

From the Writings of Aristotle to the Big Bang Theory

Susan Wise Bauer

# 极简科学史

## 人类探索世界和自我的2500年

[美]苏珊·怀斯·鲍尔 著 徐彬 王小琛 译



中信出版集团·CHINACITICPRESS

# 版权信息

书名:极简科学史

作者:[美]苏珊·怀斯·鲍尔

译者:徐彬，王小琛

ISBN:978–7–5086–6819–2

中信出版集团制作发行

# 致谢

感谢茱莉亚·卡泽维茨（Julia Kaziewicz）不知疲倦地解决所有有关授权的问题，同时感谢里奇·古恩（Richie Gunn）为本书插图所作的颇具个人风格的作品。

感谢格雷格·史密斯（Greg Smith）和贾斯廷·摩尔（Justin Moore）审校我的草稿并在谨慎缜密地思考后提出意见（但有些意见我没有采纳，因此书中的任何错误都应归咎于我一人）。

感谢因奎尔德（Inkwellde）的迈克尔·卡莱尔（Michael Carlisle）以及他的得力助理汉纳·施瓦茨（Hannah Schwartz），感谢他们的专业管理。

感谢我的朋友们，他们会耐心地听我谈论自己的新兴趣，尽管有时我的长篇大论超乎他们的想象。他们是：莉兹·巴恩斯（Liz Barnes）、梅尔·摩尔（Mel Moore）和鲍里斯·费时曼（Boris Fishman）。我希望美酒帮你们减轻了痛苦。

最后，如同以往，感谢诺顿出版社的斯塔林·劳伦斯（Starling Lawrence），他谨慎的赞誉比多数人给予我的奉承更有价值。感谢拥有杰出工作能力的瑞安·哈林顿（Ryan Harrington）以及诺顿出版社的其他工作人员，自1999年，他们就一直帮助我完成项目——其中包括（当然还有其他更多的人）弗朗辛·卡斯（Francine Kass）、迈克尔·莱文蒂诺（Michael Levantino）、史蒂芬·金（Stephen King）、唐·瑞弗金（Don Rifkin）、南希·帕尔姆奎斯特（Nancy Palmquist）、尤金伲亚·帕卡丽（Eugenia Pakalik）、果尔达·雷德马赫（Golda Rademacher）、伊丽莎白·赖里（Elizabeth Riley）、诺米·维克多（Nomi Victor）和乔·

洛普斯（Joe Lops）。我还要感谢特雷西·维嘉（Tracy Vega）、梅格·舍曼（Meg Sherman）、克里斯汀·基斯（Kristin Keith）以及其他所有诺顿出版社的销售人员。感谢你们所做的一切。

# 序言
# 怎样使用本书

> 一切知识，一旦人类忘记了它出现的条件、回答的问题以及起到的作用，都会丧失其科学特性。
>
> ——本杰明·法伦丁（Benjamin Farrington），
>
> 《希腊科学对我们的意义》（*Greek Science: Its Meaning for Us*）

本书严格来说不是一部科学史。

至今，已经有许多人写下了大量的（篇幅冗长的）科学史，此类书可谓汗牛充栋：希腊科学研究、文艺复兴科学史、启蒙运动科学史、维多利亚时代科学史、现代科学史、科学与社会、科学与哲学、科学与宗教以及科学与“人”等等。

它们固然都有其价值，但是，一味关注细节似乎导致了科学本质的丧失。对大多数“人”——也就是没有接受过专业科学教育的普通公民——而言，他们仍旧不清楚科学有什么用，或者说，科学是什么。

我们大多数人都是通过新闻报道、交互图片和采访录音获得科学知识的。它们也许会给我们一些模糊且不完整的科学事实，但是，21世纪正在进行的科学之战告诉我们，这些科学事实是不够的。对干细胞、全球变暖的研究以及给小学生提供进化论方面的教育产生影响的决定都是由投票人（或者是他们各自的代表）做出的。而这些人根本不理解生物学家为何认为干细胞很重要，不理解环境科学家是怎样得

知地球正在变暖的，不理解宇宙“大爆炸”究竟是什么（它既不“大”，也不是一场“爆炸”。参见本书第27章）。

鉴于此，本书与那些科学史略有不同。本书追溯了伟大科学**著述**的发展，这些文章和书籍几乎都直接影响或改变了科学研究的轨迹。本书针对的是那些对科学有兴趣、有悟性的外行人。在本书中，科学只是一种单纯的人类追求：它不是通往真理的绝对可靠的指引，而是一种理解世界的方式，这种方式极其私人化，有时会出错，常常会把人引入歧途，但绝大多数情况下还是正确的。

本书是按照时间顺序来呈现这些科学“著述”的，从希波克拉底（Hippocrates）、亚里士多德（Aristotle）和柏拉图（Plato）的古代科学著作到理查德·道金斯（Richard Dawkins）、斯蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould）、詹姆斯·格雷克（James Gleick）和沃尔特·阿尔瓦雷茨（Walter Alvarez）的现代科学著作。本书为读者理解这些著作提供了所需的相关历史、传记以及专业知识，并在各章节最后为读者提供了推荐阅读的图书版本。早期的著述不必全文阅读，本书的网站为读者进行了摘录；网站链接可在书中找到。（网站上也提供了许多电子书资源，这些都是20世纪前的书，其中许多已经很难找到了。）

但这并不意味着这份清单囊括了所有的重要科学著述，读者也可能会对我的选择感到不满意。的确，许多值得一读的科学著作并没有出现在我的书单上。（如果你搜索“伟大科学著作”的书单，你会找到几百本书。）这是因为我择取的书不仅要突出科学史上的重要**发现**，还要揭示我们**思考**科学的方式。这份书单旨在让人理解科学，不求详尽无遗。

第一部分“发端”讲述了科学的起源。第二部分“方法的诞生”阐述了我们已经习以为常的科学研究方法为何，又是怎样诞生的。本书的余下部分介绍了三个不同领域的主要科学著作：地球科学、生命科学

以及宇宙科学。这一安排是作者有意为之的。地质学将指引我们关注现代生物学所研究的那段时期，而对那段时期的研究又会引发我们对整个宇宙的全新思考。

在第三到第五部分，细心的读者可能会发现（“经典”书目择取方面出现了）一个转变：20世纪40年代之后的“经典”书目列出的大多是那些将新理论或新发现公之于众的作品，而不再是那些首次引起科学界对之产生关注的期刊文章和会议报告。因此，要了解地质灾变论，你最好去读沃尔特·阿尔瓦雷茨1997年创作的《雷克斯和末日火山口》（*T.rex and the Crater of Doom*），而不是阿尔瓦雷茨和其他三位作者于1980年一同撰写的文章《外来之灾——白垩纪和第三纪灭绝》（“Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction”）；要了解宇宙大爆炸，你就要读史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）的畅销书《宇宙最初三分钟》（*The First Three Minutes*），而非这本书创作之前就发表的（大量的）有关宇宙辐射的科学论文。

第二次世界大战后，科学研究日益专业化。[注]科学家们得到了学术上的认可、同事的支持，他们（偶尔）还会因为对某一问题的细致研究而获得经济奖励，不必非要试图勾勒出整个科学世界。科学理论的形成、发展、支持或反对囿于一个科学小团体之内，他们日益深闭固拒——说的行话令外人难以理解。同样都是生物学方面的“伟大作品”，《双螺旋》（*The Double Helix*）和《自私的基因》（*The Selfish Gene*）两本书与威廉·哈维（William Harvey）的《心血运动论》（*De motu cordis*）的“伟大”之处是不同的；哈维的书不仅能让他的同行了解他的发现，普通民众也能读懂，但是，学术界外的人是读不懂詹姆斯·沃森和理查德·道金斯的原创性论文的。［道金斯的专业论文《寄生虫、必要清单和机体悖论》（“Parasites, Desiderata Lists and the Paradox of the Organism”）的读者就很少。］但是，他们必须使这些作品大众化：通过综合、简化和解释来普及他们的作品。

尽管如此，《双螺旋》、《自私的基因》和《心血运动论》三本书所起的作用是相同的：为我们思考自然世界提供了一个全新的方式。



大家不必把我所谈到的文献全部读完，而是可以从你感兴趣的著作开始。如果大家对生物学或宇宙论最感兴趣，那么不必一定要读完本书第一、第二部分的所有推荐书目才去读本书第四和第五部分的推荐书目。

但至少要阅读相关章节中对这些书及其观点的介绍。这是因为，即使是今天，柏拉图唯心主义仍旧在影响着那些试图解决生物起源问题的科学家；19世纪查尔斯·赖尔（Charles Lyell）的地质学理论仍旧影响着我们对人类进化的理解；量子理论与弗朗西斯·培根（Francis Bacon）的科学方法仍旧难分高低。

要理解科学，我们就必须理解它的过去。我们必须不断地提问，不仅要问“我们发现了什么”，还要问“我们为什么要做这样的发现”。只有这样，我们才能开始理解为何我们要重视或无视科学知识；只有这样，我们才能分辨哪些承诺是可以通过科学来兑现的，哪些又应该小心谨慎，带着怀疑的态度来对待。

只有这样，我们才能开始理解科学。



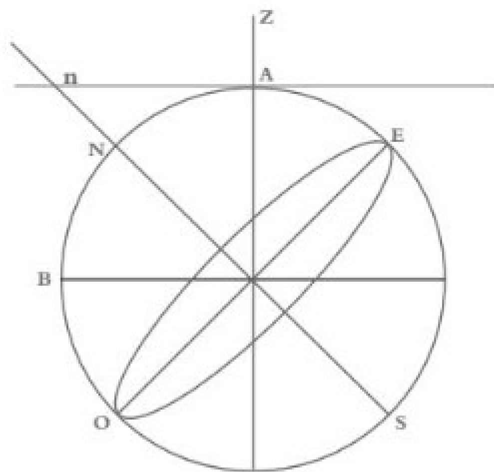
请注意我的措辞：自始至终，我都在交替使用“理论”（theory）和“假设”（hypothesis）这两个词。21世纪的科学家也许会指出“理论”要比“假设”更详尽，或更经得住时间的考验，或有更可靠的数学计算的支持。但二者都表示同一个理论体系，这一理论体系能对证据自

圆其说。既然我们不知道“假设”何时会成为“理论”，且不同时代、不同领域的科学家们用这两个词的情况也各不相同，我在此就不过分纠结于区分二者了。

---

1. 专业化的形成有多重原因，其中，西方实业家们对可能带来经济效益的科研项目进行巨额投资，以及大学在科学家的培养（和聘用）方面日益凸显其作用，这两者可能是主要原因，但其他因素也不可忽视。这一现象超越了本书的讨论范围，感兴趣的读者可参考约翰·J.比尔（John J.Beer）和W.戴维·路易斯（W.David Lewis）的《论科学专业化》（“Aspects of the Professionalization of Science”）一文，《戴达罗斯》（*Daedalus*）92，no.4（Fall 1963）：764–784；或I.伯纳德·柯恩（I.Bernard Cohen）的《科学中的革命》（*Revolution in Science*，哈佛大学出版社，1985年）第8章。

# 第一部分
# 发端




---

希波克拉底（Hippocrates），《格言集》（*Aphorisms*，约公元前420年）

柏拉图（Plato），《蒂迈欧篇》（*Timaeus*，约公元前360年）

亚里士多德（Aristotle），《物理学》（*Physics*，约公元前330年）

亚里士多德（Aristotle），《动物志》（*History of Animals*，约公元前330年）

阿基米德（Archimedes），《数沙者》（“The Sand-Reckoner”，约公元前250年）

卢克莱修（Lucretius），《物性论》（*On the Nature of Things*，约公元前60年）

托勒密（Ptolemy），《天文学大成》（*Almagest*，约公元150年）

## 尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus），《纲要》（*Commentariolus*，1514年）

# 01
# 最早的科学文献

## 用文字解释物质世界的首次尝试

生命短暂，医术长久；危象稍纵即逝；经验危险，诊断不易。

——希波克拉底（Hippocrates），

《格言集》（*Aphorisms*，约公元前420年）

希腊医生希波克拉底居住在一个由固体物质和神灵构成的世界中。

他周边的一切都是固体物质。橄榄树灰绿色的叶子，他双脚下的土壤，病人的大脑和膀胱，甚至他喝的酒（他总是饮酒有度），所有的这一切都是绝对的，纯粹的，简单的。它们是如何变成今天这种形态？在未来又将如何变化？这些问题曾久久萦绕在希腊学者的心头。这些物质是由什么**组成**的？在这些物质表面之下的组成部分又是怎样的错综复杂？又该如何**解释**它们？但在当时，这些疑问根本就不可能得到解答。

23个世纪后，阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）和物理学家利奥波德·因菲尔德（Leopold Infeld）就此希腊困境做出了一个比喻。他们认为，古希腊自然世界的探索者们就像：

> 某人非常想了解手表的机械结构（机制），他却只能盯着表盘和不停转动的指针，听着手表嘀嘀嗒嗒的声音，因为表盖无论如何

> 也打不开。如果他还算机灵，他可以绘制一幅机芯图，为他所观察到的一切做出解释。但是他……可能永远都不能用真正的机芯与自己绘制出的图纸两相对照。他觉得这样的对照不仅是不可能的，也是毫无意义的。(注)

于是希腊人不再寻求什么机制，他们要的是神灵。

神灵存在于自然世界的固体物质中，他们在橄榄树林中漫步，在圣殿或神庙里居住。他们始终对人类的一举一动予以关注，对人世间的善恶美丑做出评判，对人类的错误行为予以警示。色诺芬（Xenophon）《会饮篇》（*Symposium*）中的一个人物曾说："我一切所作所为都逃不过神灵的眼睛，因为他们知道所有事情将会如何发展，他们给我预兆，也许是通过语言，也许是通过梦境，也许是用其他的征兆来指引我该做什么。"神存在于自然之中，并掌控着一切自然法则。在希波克拉底之前150年时，数学家泰勒斯（Thales）就曾说过"神灵存在于万物之中"：他们不仅存在于万物之中，且无处不在。(注)

古希腊人曾经研究并试图从哲学的角度来思考神灵的存在和物质世界的属性。他们好奇却不盲从。我们的世界被截然分成了理论和物质两个部分，但他们的世界并不同。在那里，神灵和自然是相交相融的。

在这一点上，古希腊人很像同时代的埃及人。埃及人不仅在天文观测方面堪称精密，他们还创建历法，计算出了尼罗河泛滥的时间。埃及人可以预测出天狼星出现在拂晓前天空（偕日升）的时间，因为他们知道，天狼星升起就意味着洪水要来了。但是，尽管他们能够精确地计算出尼罗河泛滥的时间，这并不妨碍他们相信是冥王奥西里斯神（Osiris）掌管着尼罗河的泛滥。(注)

另一个例子是，雅典东部的波斯天文学家有了一个新的发现：沙罗周期，即日食和月食出现的规律性周期，约为6585.32天。有了这个发现之后，波斯天文学家就开始追踪日食和月食的出现了。根据算式，他们可以通过数学的方法精确预测出下一次日食的时间，而这就可以为神庙的祭司争取足够的时间，去准备仪式以抵御日食出现时释放的恶灵。（据公元前550年的一份波斯文献记载，抵御措施包括在城门上敲击铜鼓，并大喊“日食！”或“月食！”）(注)

在古希腊人看来，**超自然**和**自然**是并存的。事实上，正是信仰神灵的数学家泰勒斯得出了也许是第一个科学性理论：尽管以固体的形式存在，整个宇宙实际上是由水构成的。尽管泰勒斯关于此理论的著述早已无处可寻，但这一论断在300年之后，由亚里士多德记录在了《形而上学》（*Metaphysics*）一书中。

> 泰勒斯……称（组成宇宙的基础物质）是水。（这就可以解释他为何认为大地漂浮在水上。）他之所以能得出这一观点，也许是因为他注意到，滋养万物的东西都是多水的……种子本身也有许多水分；此外，水是大多数物质性质的主要构成。(注)

然而，这一关于水的论断其实是错误的。但是，泰勒斯做出了我们已知最早的尝试：不仅试着观察宇宙的表壳内部，还去关注其他的东西——那些独立于神灵力量之外的也许会引起手表转动的东西。

泰勒斯在发现宇宙本质的时候试着跳出神灵的角度［生物学家路易斯·沃伯特（Lewis Wolpert）称此为“泰勒斯的飞跃”（Thales’s Leap）］。相似理论可能曾在希腊出现过，且泰勒斯的著述都已经消失了，但泰勒斯的理论是首个被后人记录下名称的理论。“泰勒斯的飞跃”可能是已知最早的科学理论，但是希波克拉底的《文集》（*The Corpus*）——汇集了60篇医学文稿，这些文稿在对疾病做出解释时并没有将其归咎于神灵——是现存第一部科学书籍。

人们一度认为这一整部文集都出自神秘的希波克拉底一人之手。（希波克拉底是公元前5世纪时的一位医生。他在狭小的希腊科斯岛上长大，科斯岛就在小亚细亚沿岸。）据柏拉图说，希波克拉底给很多有雄心壮志的医生上课，收取学费。现在人们普遍认为，收录了他课程的《文集》是由他的学生和追随者们共同完成的。(注)

在希波克拉底生活的那个时代有很多祭司医师，他们都是医神埃斯科拉庇俄斯（Aesculapius，康复之神阿波罗之子）的信徒。若想请埃斯科拉庇俄斯把自己的病治好，病人就要到医神庙中的abaton（神庙内神圣的密室）里度过一夜。伤口会在夜里愈合。密室里满是自由爬行的蛇，它们是埃斯科拉庇俄斯神的化身。有时，这些蛇会舔舐病人的伤口，使其愈合；有时，埃斯科拉庇俄斯会托梦告诉病人该接受何种治疗。有时，埃斯科拉庇俄斯会现身，亲自为病人治病。希腊编年史家保萨尼亚斯（Pausanius）曾写道：

> 赫拉克利亚的高尔吉亚（Gorgias of Heraclea）一叶肺受了箭伤。还不到一年半的时间，伤口流出的脓血就足以盛满67个杯子。他在神庙的密室里睡了一夜。梦中，他仿佛看到了医神取出了留在他肺中的箭的倒刺。早上醒来时，他已经痊愈了。他便拿着取出的倒刺离开了。(注)

希波克拉底并不质疑埃斯科拉庇俄斯神的存在，但真的是这位神治愈了病人吗？他对此有所怀疑，并试图从现实的世界，这个秩序井然的宇宙中寻找答案。在他看来，疾病并不是由愤怒的神灵带来的，也不是被仁慈的神灵治愈的。即便是癫痫病，这个长期以来都被认为是由恶魔或神灵附身而带来的“神圣”的疾病，也“不再神圣，不再比其他疾病神圣多少了，不过是自然原因导致的而已”。把疾病归咎于神的意志只是无知的表现。希波克拉底尖锐地指出：“把疾病和神联系在一起，这种观点之所以存在，就是因为人们还无法理解疾病。”(注)

希波克拉底将胃部不适、发烧、癫痫、瘟疫等所有疾病都归咎于人体失衡——四种液体（胆汁、黑胆汁、黏液和血液），即流经人体的“体液”，分泌过多或过少导致的。当这四种液体正常分泌时，人体就是健康的。但是，任何细微的自然因素都会导致体液失衡。希波克拉底认为，风（比如热风会导致人体分泌过多的黏液）和水（饮用污水会导致黑胆汁分泌过多）是导致体液失衡的主要原因。他建议的治疗方法是恢复身体的平衡。通便和放血是常用疗法，以排出多余的体液。草药（芸香、芥末、茴香和大荨麻）也有助于排出多余的体液，激活分泌较少的体液。病人们通常会被送到另一个地方，那里的气候与他们原居住地的完全不同，以远离导致他们机体失衡的风和水。㊟

与泰勒斯的理论一样，希波克拉底的观点也是错误的。但是在大多数情况下，他的方法都碰巧奏效了。不喝沼泽水和污水真的让人们健康了不少。从人群密集、流行病肆虐的城市搬到一个微风吹拂的海岸城镇也**的确**能让病人痊愈。营养、清淡的饮食**有助于**退烧——这可比让病人长途跋涉到最近的医神庙中的abaton，然后与蛇共度难熬的一夜有用多了。

但埃斯科拉庇俄斯神庙并没有因此而立刻失去市场，希波克拉底的治疗方法却也逐渐风靡起来——以至于到18世纪时，医生们仍旧通过通便、放血，以及把病人送到海边的方式来进行治疗。至今仍然有人同意希波克拉底的世界观，比如我。尽管我很清楚感冒是病毒引起的，但当我儿子只穿着T恤和短裤就一头扎进冬天凛冽的晨风中时，我还是忍不住呵斥他：“出门穿外套！要不你会感冒的！”

因此，可以说，《希波克拉底文集》不仅仅是现存最早的科学文献，也是有记载的自然疗法对非自然疗法的第一次胜利。

要了解《希波克拉底文集》相关选段，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

## 希波克拉底

## 《关于空气、水源和地域的研究》

（约公元前460—前370年）

19世纪时弗朗西斯·亚当斯（Francis Adams）的译本是首部为讲英语的大众而做的译本。该译本至今仍旧具有很强的可读性，纸质版本和电子书也不难找到。亚当斯翻译的作品包括《关于空气、水源和地域的研究》（*On Airs, Waters, and Places*）以及希波克拉底的《格言集》、《希波克拉底誓言》（*The Oath of Hippocrates*）等，这些作品后来被编入《希波克拉底文集》（*The Corpus*）中。《希波克拉底文集》有以下几个版本：

*The Corpus*, Kessinger Legacy Reprint (paperback, 2004, ISBN 978- 1419107290).

《希波克拉底文集》，辛格遗产重印（平装，2004年，ISBN 978- 1419107290）。

*The Corpus*, Library of Alexandria (e-book).

《希波克拉底文集》，亚历山大图书馆（电子书）。

*The Corpus*, with foreword by Conrad Fischer, Kaplan Classics of Medicine (e-book and paperback).

《希波克拉底文集》，序言由康拉德·菲舍尔撰写，卡普兰医学经典（电子书，平装）。

由亚当斯翻译的《关于空气、水源和地域的研究》在互联网上可以找到。

企鹅经典系列丛书包括了较现代的译本《希波克拉底著作》（*Hippocratic Writings*），由约翰·查德威克（John Chadwick）和W.N.曼恩（W.N.Mann）合译，导言部分由G.E.R.劳埃德（G.E.R.Lloyd）撰写（平装，1983年，ISBN 978-0140444513）。该版本句子结构比较容易理解，但两个翻译版本极为相似。

1. .Albert Einstein and Leopold Infeld, *The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta* (Cambridge University Press, 1938), 33.

2. .Robert Parker, *On Greek Religion* (Cornell University Press, 2011), xi, 6.

3. .Malcolm Williams, *Science and Social Science: An Introduction* (Taylor & Francis, 2002), 10.

4. .Francesca Rochberg, *The Heavenly Writing: Divination, Horoscopy, and Astronomy in Mesopotamian Culture* (Cambridge University Press, 2004), 226.

5. .Aristotle, *Metaphysics* 1.3, in *Readings in Ancient Greek Philosophy: From Thales to Aristotle*, 4th ed., ed.S.Marc Cohen, Patricia Curd, and C.D.C.Reeve (Hackett, 2011), 2.

6. .Plato, *Protagoras*, trans.Benjamin Jowett (Serenity, 2009), 25.

7. .Plinio Prioreschi, *A History of Medicine*, vol.1, *Primitive and Ancient Medicine*, 2nd ed.(Horatius Press, 1996), 42.

8. .Hippocrates, “On the Sacred Disease,” in *The Corpus: Hippocratic Writings* (Kaplan, 2008), 99.

9. .Lawrence I.Conrad et al., *The Western Medical Tradition: 800 B.C.–1800 A.D.* (Cambridge University Press, 1995), 23–25; Pausanius, *Pausanias’s Description of Greece*, trans.J.G.Frazer (Macmillan, 1898), 3: 250; Hippocrates, *On Airs, Waters, and Places*, in *Corpus*, 117.

# 02
# 人类所不可及

## 对宇宙全局的首次描绘

万物皆由原子构成……此外并无他物。

——普卢塔克（Plutarch），

《论德谟克利特》（“On Democritus”）

苏格拉底：人要是稍有一点头脑的话，在开始做每一件事时，不管大小，都先求助于神。

——柏拉图（Plato），

《蒂迈欧篇》（*Timaeus*，约公元前360年）

希波克拉底和他的追随者们当时所做的，无疑是科学研究。他们解释自然世界的时候会去寻求自然的因素，他们的诉求更需要研究而非虔诚，知识而非信仰。

即便如此，他们还是缺乏一窥自然界机制的奥秘的能力。

人们从没见过那四种体液，水和风对体液的影响也从来没有得到过证实。对于研究者来说，人体仍然有一个无法看透的表面；尽管古希腊医师可以比较准确地描述出人体构造，但始终无法了解人体内部的运作。因此，希波克拉底和他的追随者们不再试图进一步研究[注]，转而试图通过理性分析加以了解。他们最喜欢的分析方法是：

**类比法**：眼睛就像灯笼，所以眼睛里一定有火焰。内脏器官就像装满了体液的铜质容器，因此一定要有一个导管系统将它们相连，体液经这个系统由一个器官进入另一个器官。[注]

这种科学研究法与观察几乎毫不沾边。没有科学的方法，也没有共同的科学术语，并且缺乏对宇宙根本原理的基本共识。古希腊人创造了一套套精致的假想结构，然后细心地将征候填充进去。胃部不适？你内脏器官之间的导管一定是被堵塞了，导致体液在胃部淤积膨胀。

**治疗方法**：用泻剂清通导管，就像管道工清通堵塞的管道一样。

希波克拉底医派的医生的典型特征是目光短浅，他们的视野囿于人体直接接触的小环境——如今许多医生仍旧如此。但希波克拉底去世几个世纪之后，古希腊思想家开始以相似的方式（在类比法影响下产生的自然主义的方式）谈论和写作“*phusis*”，即有序的宇宙，整个自然界。

“*Phusis*”，通常简单地译作“自然”，实际上囊括的却比我们现在所考虑的自然界多得多。有序的宇宙包括地球和人类。要研究*phusis*，既要研究政治，又要研究植物；既要研究灵魂，又要研究恒星。古希腊人的智力王国无边无际，不受拘束；他们对大海和天空的成分的思考与对政治哲学的思考可以完美统一，天衣无缝。[注]

古希腊思想家们没有细致观察的传统，也没有科学的研究工具，因而无法对某种现象进行剖析，他们只能试图将*phusis*作为整体来进行解释，从它的起源到它的现状，进行通盘考虑。他们是端坐于家中的时间旅行者，为解释整个宇宙精心编造了一系列故事。一元论者认为宇宙肇始于一种最基本的元素，这是一个**东西**，它自身就包含了其发生转变的原理。“他们说，这就是那个元素以及所有物质的法则。”很

久之后，亚里士多德曾这样描写这些一元论者，“某种元素……万物都从中而来。”最早的一元论者泰勒斯提出这一元素是水；16世纪的两位哲学家阿那克西米尼（Anaximenes）和赫拉克利特（Heraclitus）则分别认为这一元素是气和火；约公元前575年，阿那克西曼德（Anaximander）则提出一种被称为“不确定物”的东西，它自身并无任何特征，但包含了一些彼此独立又完全相反并能产生变化的属性。而多元论者则倾向于认为基础元素有许多种；约公元前460年，恩培多克勒（Empedocles）提出有四种基础元素——土、气、火和水——这一观点得到了其他思想家的广泛认同。[注]

此外，还有原子论者，其中最有名的是神秘莫测的留基伯（Leucippus）和比他更有名的学生德谟克利特（Democritus），他们二人在公元5世纪的最后25年里都曾任教并著书立说。哲学家辛普利修斯（Simplicius）曾说过：“留基伯……认定那个无限的、永恒运动的元素就是原子。”德谟克利特扩展了他老师的理论，说这些原子“太小了，因此我们无法感知到它们……它们，或者说这些元素……可见、可感知的物质”得以形成。[注]

事实证明，这一观点大体上是正确的。

原子论者常常得到夸赞，说他们拥有惊人的远见和洞察力。但事实上，他们并不比一元论者和多元论者更有天赋；只不过，像希波克拉底那样，他们碰巧撞上了一部分事实而已。“这些早期的原子论者看似相当超前，”物理学家（诺贝尔奖获得者）史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）说道，“但是（一元论者们）‘错了’，德谟克利特和留基伯的原子理论在某种意义上‘对了’，这种对错之分对我来说并不重要……如果我们不知道如何计算物质的密度、硬度或导电性，即使泰勒斯或德谟克利特告诉我们石头是由水或原子构成的，我们又能在理解自然的路上走多远呢？”[注]

换句话说，钟表的外壳依旧紧闭；这些早期涉足科学的作家只是在总结一些无法证明的理论而已，而且我们也读不到他们的原稿了，因为这些文章，比如泰勒斯的，早已散佚了。他们的推断只能从他人在很久之后所写的总结或研究文字中找到。塞克斯都·恩披里柯（Sextus Empiricus）在《反对数学家》（*Against the Mathematicians*）一书中对德谟克利特的思想予以了详细的总结，他生活在德谟克利特600年后；千年之后，辛普利修斯——为数不多的在文章中直接引用留基伯观点的人——才出生。

但是，一元论者、多元论者和原子论者㊟共同迈出了关键性的一步。他们都认同一条原则：*Phusis*，如同人类疾病一样，是可以依靠物质世界本身来进行解释的。如果说原子论者在其中略处于突出位置，这只是因为德谟克利特要比他的同行们更坚信构成宇宙的仅仅是原子和他所谓的“the empty”（“空”间）——原子在其中快速地四处移动，相互碰撞，偶尔会彼此缠连，随后又碰巧分离。德谟克利特的世界也有神灵，只不过他们也是由原子构成的，也要遵循自然法则；他们不参与造物，最终也会烟消云散。没有事先的计划，没有设计，只有原子在“空”间里不规律地运动。

德谟克利特否认了神灵创造宇宙。他对宇宙存在的解释是唯物主义的；这跟自那之后其他的唯物主义解释一样，都激起了强烈的反对。㊟

最强烈也最有影响力的反对之声源自德谟克利特两代之后的雅典长寿哲学家柏拉图。柏拉图反驳道，如果没有神灵，道德伦理将万劫不复。如果没有神之起源，国家就会分崩离析。如果不是超自然神灵创造万物，人类的道德就会湮灭。因此，人们也许可以通过感官去理解*phusis*（自然），但要解释它的起源，一定要涉及神灵。㊟

所以，在他晚年写的《蒂迈欧篇》中，柏拉图勾勒了他自己认识中的宇宙及其运转方式——这是第一部参照自我意识对宇宙全局进行勾勒的新科学性专著，是已知的提出万物至理（适用于万物的普遍法则）的首次尝试。这是一部杂糅之作，开篇将宇宙发端归于神灵造物主之手——一股神力，一位神秘的巧匠——后来又从宇宙发端转而解释宇宙目前的运转，完全没有提这与神灵有何关系。在他生活的那个时代，人们不可能再把河水的泛滥或月球的运行归因于神灵的意志。然而，宇宙自始至终与神灵无关，或者说宇宙发端并非借助神力，这对柏拉图而言是难以想象的。

环顾这有序的世界，柏拉图看到的是设计和美；他坚信，这些一定是来自有思想的东西，一定来自某种智慧的东西。所以他便开始描绘出一个巨匠造物主（Demiurge，物质世界的创造者，用已有的物质创造了我们今天看到的一切），描绘了无序、不规则的物质形成一个有序的球形宇宙的过程。这个有序的宇宙起初存在于造物主的头脑中，完美无缺；宇宙成形之后，离造物主最初的理想状态有一点差距，形成了一个可见却稍显逊色的复制品，是造物主头脑中最初真实宇宙的一个物化影子而已。

物化的宇宙包括四个基本元素——土和火是最基本的元素，连接二者的纽带则是气和水。人类居住在这个物化的宇宙中，人体在某些方面反映了宇宙的结构（正如水在地球表面循环，血液在人体内循环），人类可以通过自己的感官——触觉、嗅觉、视觉和听觉——来理解这个宇宙。

在这方面，巧匠（造物主）就无从参与了。[注]

当然，这只是《蒂迈欧篇》中说法的简化版而已。“在柏拉图的所有作品中，《蒂迈欧篇》堪称最晦涩也最令现代读者生厌的一篇了。”本杰明·乔伊特（Benjamin Jowett）在他的经典译作《柏拉图对话

集》（*Dialogues*）的导言开头这样写道。对于《蒂迈欧篇》里的“对话”的复杂性，他并未夸大其词。柏拉图惯用诗歌和哲学作品的语言，要用这种语言去描述一个物化现象非常吃力，因此他的文章极其晦涩，以至于要理解某句话的大意都很困难，更别说是理解整部作品的主旨了。他描述了我们是如何感知与领会的，穿插其中的还有大篇幅的哲学上的思辨（比如说，**物有常势，则有定形；物不息演，则不可辨**），还阐释了为何宇宙没有双脚而我们却有，此外还讲到了失落的亚特兰蒂斯（Atlantis）文明的故事。

《蒂迈欧篇》影响了随后两千多年的西方科学研究。柏拉图在研究宇宙起源时脱离了观察法，在研究万物创造时脱离了对常见现象的解释。他承认感官在研究我们周边世界时的重要作用——而且，如同希波克拉底，他打开了一个不断扩张的空间，在这个空间里，可以进行科学研究而无须依靠超自然因素。

这对于新生的科学领域而言是个很棒的礼物。但是，柏拉图的这一馈赠也伴随着致命的伤害。是的，人类可以通过感官来理解物质世界。但是，由于物质现实不过是理想的一个影子，自然科学也就总是从属于形而上学了。哲学总是试图去理解那个理想中的宇宙，现实的世界是理想宇宙堕落之后的样子。科学则只是通过观察来理解这个堕落的影子本身。所以科学永远都不会引领我们找到真相，它总是要匍匐在哲学的脚下，心甘情愿地接受指正。

阅读《蒂迈欧篇》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

柏拉图

《蒂迈欧篇》

（约公元前360年）

本杰明·乔伊特19世纪的译本至今仍旧被广泛重印，这一译本清晰易懂，适合现代读者阅读。尽管并不是所有版本的《柏拉图对话集》都收录了这一译本，但这一译本可在以下系列中找到：

*The Dialogues of Plato in Four Volumes*, vol.2, Charles Scribner's Sons (e-book, 1892).

《柏拉图对话集四卷本》第二卷，查尔斯·斯柯利布纳之子公司（电子书，1892年）。

*Dialogues of Plato: Translated into English with Analyses and Introduction*, Cambridge University Press (paperback, 2010, ISBN 978-1108012102).

《柏拉图对话集：含分析与导言的英译本》，剑桥大学出版社（平装，2010年，ISBN 978-1108012102）。

现代译本有：

Peter Kalkavage, trans., *Plato's Timaeus*, Focus Publishing (paperback, 2001, ISBN 978-1585100071).

彼得·卡尔卡瓦格译，《柏拉图的〈蒂迈欧篇〉》，焦点出版社（平装，2001年，ISBN 978-1585100071）。

虽同为希腊人，但希波克拉底时代研究的是物质（水、黏液、泻剂、腹部），而柏拉图时代的希腊人则主要关注抽象事物，这些事物的名字甚至很难用几个词简单翻译出来。柏拉图关注的是存在，而非诊断或处方；他惯用晦涩陈旧的词语；此外，他还特别喜欢玩文字游

戏，巧妙地使用笑话和双关语。所以，柏拉图作品的各个译本迥异。以下是乔伊特对《蒂迈欧篇》第一部分某一节的翻译：

> 造物主为何要创造世界？他很完美，并渴望万物能像他一样（完美）。因此，当他发现这个世界无序混乱时，他使它变得秩序井然了。(注)

以下是彼得·卡尔卡瓦格对同一节的翻译：

> 现在我们来聊聊是什么让建筑师建造了这一切。他是如此完美，如此完美的人容不得半点的不完美，因此，像他这样一个没有半点不完美的人，希望万物都能尽量像他一样完美。而这就是关于创生和宇宙的至高无上的原理，任何一个谨慎的人都应该且必须接受它。因为他希望万物都能完美，不得有一丝粗制滥造，神因此把他的力量发挥到极致，接管了一切可见的事物；因为当时宇宙还不安宁，运转不和谐，杂乱无章，神就把这无序的宇宙变得有序了，在他看来，有序比无序要更好。(注)

卡尔卡瓦格的翻译是字斟句酌的直译，他仔细剖析希腊语的每个表达法的结构，极力避免进行阐释；而乔伊特的译本融翻译与柏拉图的解释于一体，因此也就更容易为非专业人士理解。

如果你想全面了解哲学问题，你就去读卡尔卡瓦格的译作。如果你只想简单地了解柏拉图理想主义的大意，因为你知道随后几千年的科学研究都受到了柏拉图理想主义的影响，你最好去读乔伊特的译作。

---

1. 当时，解剖术尚未广泛采用，这很可能是因为古希腊人相信，体面的下葬是通往圆满来世之门。在《希腊理性医学——从阿尔克迈翁时期到亚历山大时期的哲学和医学》（*Greek Rational Medicine: Philosophy and Medicine from Alcmaeon to the Alexandrians*，

Routledge，1993年）一书中（p.184ff），詹姆斯·朗瑞格（James Longrigg）对于古希腊人对待尸体的态度，为我们提供了可资借鉴的概述。

2. 他们被共同称为“前苏格拉底哲学家”。这是一个误导性的称呼，因为这个说法不仅包括了苏格拉底（约公元前469—前399年）之前的哲学家，也包括了苏格拉底之后的那些反对柏拉图观点的哲学家。

3. .Lawrence I.Conrad et al., *The Western Medical Tradition: 800 B.C.–1800 A.D.* (Cambridge University Press, 1995), 23; Hippocrates, On Ancient Medicine, trans.Mark J.Schiefsky (Brill, 2005), 32.

4. .Gerard Naddaf, *The Greek Concept of Nature* (SUNY Press, 1995), 1–2.

5. .Aristotle, Physics, trans.Robin Waterfield, Oxford World’s Classics (Oxford University Press, 1999), xi; Naddaf, *Greek Concept of Nature*, 7, 65–66; Aristotle, *The Metaphysics*, trans.William David Ross, in The Works of Aristotle (Franklin Library, 1982), 3: 175.

6. .Simplicius, *Commentary on the Physics* 28.4-15, quoted in Jonathan Barnes, *Early Greek Philosophy*, rev.ed (Penguin, 2002), 202; Aristotle, On Democritus, frag.203, quoted in Barnes, *Early Greek Philosophy*, 206–7.

7. .Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory: The Scientist’s Search for the Ultimate Laws of Nature* (Vintage, 1994), 7–8; see also Chapter 27, “The Triumph of the Big Bang.”

8. .C.C.W.Taylor, *The Atomists: Leucippus and Democritus, Fragments* (University of Toronto Press, 1999), 214–15.

9. .Naddaf, *Greek Concept of Nature*, 9.

10. .George Sarton, *A History of Science: Ancient Science through the Golden Age of Greece* (Harvard University Press, 1964), 421–24; Benjamin Jowett, *The Dialogues of Plato in Four Volumes* (Charles Scribner’s Sons, 1892), 2: 458–59.

11. .Plato, *The Dialogues of Plato*, trans.Benjamin Jowett (Hearst’s International Library, 1914), 4: 463.

12. .Plato, *Plato’s Timaeus: Translation, Glossary, Appendices, and Introductory Essay*, trans.Peter Kalkavage (Focus, 2001), 60–61.

# 03
# 变化

## 第一个关于进化的理论

改变万物的都是我们可感知的。

——亚里士多德（Aristotle），

《物理学》第七卷（*Physics*, Book VII，约公元前330年）

自然界从无生命体时期渐进到生命体时期的过程极其缓慢，以至于它们之间的界限模糊不清。

——亚里士多德（Aristotle），

《动物志》第八卷（*History of Animals*，Book VIII）

同老师柏拉图一样，亚里士多德也注意到了周边世界的美与秩序。不同的是，柏拉图将美视为“巧匠”（造物主）从一开始就存在的证据，而亚里士多德则将美视作一个指向标，指向了最终的圆满。

这改变了万物——尤其是改变了变化本身。

在柏拉图看来，变化并不意味着进步，衰败才是。柏拉图眼中的自然世界只不过是“巧匠”原本思维中那个世界的残次复制品，这意味着世界本身就是一件有缺陷的艺术品——这就好比一个完美的剧本，当被搬到舞台上，由真正的演员身着戏服在现实的舞台上演出来的时候，这部戏就难免会出现越来越多的缺陷了。物质世界总是**比不上**造

物主原来想象中的那个，任何改变只会不可避免地把现实世界向着与理想相反的方向越推越远。

但亚里士多德注意到了其他的东西，比如新芽会长成大树，幼崽会长成雄狮，婴儿会长大成人，等等。

首先，他想知道该如何解释这一过程：这些变化是如何**发生的**？一个实体或一个**存在**在哪些阶段会出现不止一种形态？是什么促成了变化？又是什么决定了终点？

其次，他还想知道为什么。**为什么**小猫崽会长成成猫，而一颗种子会变成一朵花？是什么促使它们开始这漫长的转变之路的？为什么小猫不能永远是小猫，而种子不能永远停留在种子那个阶段？

在今天，以上的这些问题似乎是多余的。因为细胞的生长变化已经是常识了，就连幼儿园的课堂上也会教孩子们在潮湿的棉花上让豆子发芽。但天才亚里士多德（尽管他的结论经常是错得离谱）必须要问这些问题。他不因生长和改变是自然进程就简单地接受它们。**正因为**它们是自然进程，他才想问为什么；**正因为**它们是自然界循环的一部分，他才想要去理解它们。

这就是科学。

因此，亚里士多德影响最大的那本科学专著《物理学》就是关于变化的。各种意义上的变化包括：幼小的生物成长时发生的自然变化；一个物体从一处移动到另一处时发生的变化；移动后的物体是否还同移动前的那个一样；如何解释这些运动的发生。

柏拉图认为最后一个问题的答案是**衰败**，而亚里士多德并不认同。他认为，这是因为自然界的一切物体和存在都**必须**运动，才能改变现状，在未来达到一种更完满的状态。在种子、小猫和婴儿的体内

存在着**变化**的潜质，即“运动的原理”，正是这一因素不断使机体趋于更高的圆满。亚里士多德眼里的自然世界，即他周遭的*phusis*，并不是一出演砸了的戏剧，它是一部纪录片，不断推进至一个令人满意的结局。

他的这一观点给科学研究带来了巨大的影响。

一方面，只有亚里士多德的观点使实证研究——对物质世界的观察和理解——成为通往真正的、**有价值**的知识的正确途径。而柏拉图式的观点总是将物质世界置于理想中的世界之下，因而不可避免地贬低科学研究的价值，使其处于一个低等的、二级的位置。［化学家兼历史学家乔治·萨顿（George Sarton）创立了科学史这一学科，他在这一领域成绩斐然，他称《蒂迈欧篇》对后世科学思想的影响是“巨大的，且在本质上是有害的”。］但亚里士多德的哲学观是，科学导向真理。注

此外，只有依据亚里士多德的观点，进化才有可能发生。

柏拉图认为改变就是衰败，运动总是会**偏离**理想，偏向一个更加低效、更不完美的状态。但在亚里士多德学派的科学观中，自然不可阻挡地日渐趋向一个更完满的结果。

这和我们今天所说的进化并不完全一致。生物进化并没有预先设定的目标，没有整体的设计。而亚里士多德的科学具有**目的论**性质，即坚信自然的发展是有目的的，朝着完满的方向发展。

目的论表达了对造物主的信仰，这个造物主将世界置于一个确定的、不可避免的道路上。但是亚里士多德不认为自然是造物主设计师的创造。亚里士多德并没有完全背离老师的观点，否认本因的存在；他推测，一切运动之始一定是有一股原始力量，其他的因素都无法带来这些运动，这股原始力量就是那个永恒的推动者。但这个永恒的推

动者并不是从外部开始塑造自然界的。它不是陶工，世界也不是黏土。嫩芽长成大树是因为其内部固然就存在的“树性”（treeness）。在亚里士多德看来，目的论并不是一种外部的引导力，而是一种内部潜力。决定自然界最后形态的关键就在其中。

可见，达尔文后来创立的理论的哲学基础在这个时候就已经出现了。

亚里士多德认为世界的运动总是向前的，**有目的的**（正如德谟克利特和原子论者所认为的那样，它从来都不是随意的），这一观点就是他所谓的*scala naturae*的基础。*Scala naturae*，即“自然梯度”：从最简单到最复杂，分等级、渐进连续地排列所有自然有机体。植物在最低端，而人类则接近最顶端。在中世纪哲学家的手里，亚里士多德的“自然梯度”就成了“物种进化链”，即将所有自然元素和生物顺序连接起来的链条。岩石在链条最低端，造物主位于最顶端。㊟

要在“自然梯度”上找到生命体的位置，自然科学家们就得先了解它们。亚里士多德的其他科学专著，比如他的自然史汇编［《动物志》、《动物之生殖》（*Generation of Animals*）、《动物之构造》（*Parts of Animals*）］对生物进行了描述、组织和归类，他在庞大而难以控制的自然界内部发现了那些有目的的变化的法则，并抽象地呈现在《物理学》中。

由于古希腊人没有一套专门的术语，这使得他的这一努力复杂化了。科学的语言尚未建立，要从事科学研究，亚里士多德只能创立一套自己的科学词汇、术语、名称和分类法。于是，他建立了生物分类学：将有机体按照它们共有的特征进行分组的科学。他创立的最重要的分类——有血动物和无血动物——至今仍存在，只不过重新表述为脊椎动物和无脊椎动物。㊟

但他也给后代的科学造成了许多巨大的错误：自然发生；球状的宇宙是由旋转的晶状甲壳组成的；后天性状（甚至包括了后天的伤痕）的遗传。但是，尽管这些是错的——有些甚至错得离谱——他的理论至少总是以他对自然界变化的观察为基础的。他将“变化”从柏拉图眼中的“尘堆”中解救出来，并上升为自然界的核心法则：一台将驱动科学研究不可阻挡地向前发展的引擎。

阅读《动物志》和《物理学》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

亚里士多德

（公元前384—前322年）

《动物志》

理查德·克雷斯韦尔（Richard Cresswell）19世纪的译本至今仍具可读性，读者可以找到免费的电子书。

Johann Gottlob Schneider, ed., *Aristotle's History of Animals in Ten Books*, trans.Richard Cresswell, Henry G.Bohn (e-book, 1862).

约翰·戈特洛布·施耐德主编，《亚里士多德的〈动物志〉十卷本》，译者理查德·克雷斯韦尔和亨利 ·G.博恩（电子书，1862年）。

最好的印刷本是洛布古典丛书（Loeb Classical Library）系列的三卷本，该版本售价较高。

Aristotle and A.L.Peck, *Aristotle: History of Animals, Books I–III* (Loeb Classical Library no.437), Harvard University Press (hardcover,

1965, ISBN 978-0674994812).

亚里士多德和A.L.派克，《亚里士多德〈动物志〉第一卷到第三卷》（洛布古典丛书系列，第437期），哈佛大学出版社（精装，1965年，ISBN 978-0674994812）。

Aristotle and A.L.Peck, *Aristotle: History of Animals, Books IV–VI* (Loeb Classical Library no.438), Harvard University Press (hardcover, 1970, ISBN 978-0674994829).

亚里士多德和A.L.派克，《亚里士多德〈动物志〉第四卷到第六卷》（洛布古典丛书系列，第438期），哈佛大学出版社（精装，1970年，ISBN 978-0674994829）。

Aristotle, Allan Gotthelf, and D.M.Balme, *Aristotle: History of Animals, Books VII–X* (Loeb Classical Library no.439), Harvard University Press (hardcover, 1991, ISBN 978-0674994836).

亚里士多德，艾伦·戈特赫尔夫和D.M.巴姆，《亚里士多德〈动物志〉第七卷到第十卷》（洛布古典丛书系列，第439期），哈佛大学出版社（精装，1991年，ISBN 978-0674994836）。

亚里士多德

（公元前384—前322年）

《物理学》

R.P.哈迪（R.P.Hardie）和R.K.盖伊（R.K.Gaye）40年致力于将亚里士多德的作品译成标准英语版本（即牛津译本系列），《物理学》译本是其中之一，目前读者可以找到该译本的免费电子书以及重印平装书。

Aristotle, *Physics*, trans.R.P.Hardie and R.K.Gaye, Clarendon Press (1930, e-book at“The Internet Classics Archive” online, paperback reprint by Digireads, ISBN 978-1420927467).

亚里士多德，《物理学》，译者R.P.哈迪和R.K.盖伊，克拉伦登出版社（1930年，电子书可在“互联网经典藏书”中找到，重印平装书由Digireads出版，ISBN 978-1420927467）。

罗宾·沃德菲尔德（Robin Waterfield）的新译本可读性很强，如果你想阅读《物理学》全部八卷，那么这些译本值得一读。

Aristotle, *Physics*, trans.Robin Waterfield, Oxford World’s Classics, Oxford University Press (paperback, 1999, ISBN 978-0192835864).

亚里士多德，《物理学》，译者罗宾·沃德菲尔德，牛津世界经典丛书，牛津大学出版社（平装，1999年，ISBN 978-0192835864）。

1. .George Sarton, *A History of Science: Ancient Science through the Golden Age of Greece* (Harvard University Press, 1964), 423.

2. .Jennifer Vonk and Todd K.Shackelford, eds., *The Oxford Handbook of Comparative Evolutionary Psychology* (Oxford University Press, 2012), 42.

3. .Sarton, *History of Science*, 539; Jonathan Barnes, ed., *The Cambridge Companion to Aristotle* (Cambridge University Press, 1995), 123–26.

# 04
# 沙粒

## 数学首次被用于测量宇宙

大多数人都没有学过数学，他们将会觉得这一切不可思议，但是……对于精通数学的人而言……这一证据只会让他们对此深信不疑。

——阿基米德（Archimedes），

《数沙者》（“The Sand-Reckoner”，约公元前250年）

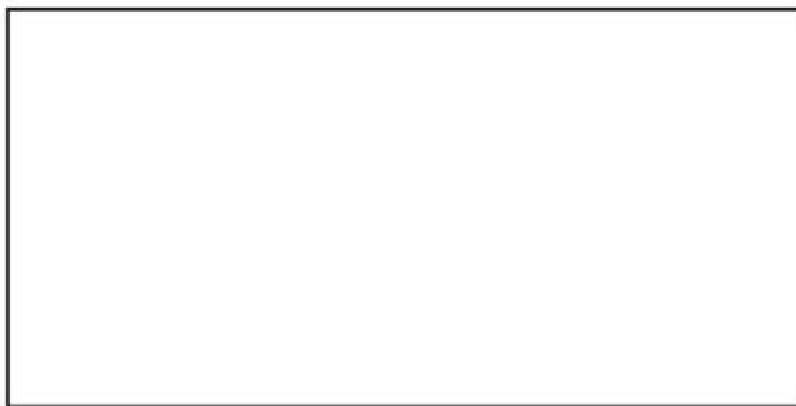
直至此时，在科学这一崭新领域中，数学还几乎没发挥过什么作用。古希腊数学沿着独立有时又不免有些曲折的道路发展，这条路始终没有与自然研究有过重要的交叉。

信仰上帝的数学家泰勒斯建立了第一个抽象的、关于宇宙的数学法则，并因此广受赞誉。希腊人并不是唯一懂得几何的古代人——印度河河谷的数学家们早在他们之前就掌握几何知识了——但据记载，我们认为泰勒斯之前的思想家都没能超越具体的几何观测（“任何一条直径都将圆分割成两等份”），而进一步证明这些观点是永远正确的，比如说，上述法则适用于所有圆，而且在宇宙的任何地方都适用。注

泰勒斯之后，几何——这一研究角和线，以及它们构成的图形及其面积的学科——就发展成了希腊数学的根基和主干。算术（数学的一个研究数字的分支）就是从几何学中衍生出来的。数字是用于衡量

面积、长度等几何学属性的最重要的工具。然而，衡量结果往往不会单纯用数字来表示，而是用比率。

换句话说，测量一个长方形时，我们通常会这样做：



把长标记为3英寸，宽标记为1.5英寸。但是古希腊的数学家们则会用两边长度之比来表示：

$$2:1$$

因为长与宽之比恰好等于数字2与数字1之比。

希腊人可以用比率进行加、乘以及大家在算术课上学到的所有运算。因此，数学会探讨到“有理数”。有理数表示的是任何两个整数之间的比率关系。注

在泰勒斯之后到柏拉图之前的这段时间里，在数学方面最为活跃的是毕达哥拉斯学派，构成这一学派的人都是毕达哥拉斯（Pythagoras）的追随者；毕达哥拉斯是公元前6世纪的希腊神秘主义者，人们对他的身世一无所知。有关他生前的一些细节全部是通过后世的追随者们才得以流传下来，其中包括扬布里柯（Iamblichus）。扬布里柯生活在毕达哥拉斯之后的800多年，他耗费毕生心血撰写了一部长达10卷的百科全书式的毕达哥拉斯教义。扬布里柯说，毕达哥拉斯

的父母都是宙斯的后裔，有谣言说，毕达哥拉斯是阿波罗之子，当毕达哥拉斯的父亲外出时，阿波罗造访了他的母亲。（关于这一点，扬布里柯表示“无法”证实，但是“没人会否认毕达哥拉斯的灵魂是从阿波罗的领地中被送给人类的”。）㊟

毕达哥拉斯被尊为神灵的喉舌，他的数学法则主要作用**并非**是充当理解自然世界的工具，而是理解真理本身的一种方法。毕达哥拉斯教导说，数学是通向知识的**唯一**途径：不借助数字就不可能对事物有真正的理解。数字拥有神谕的力量——尤其是1、2、3和4，它们组合起来可以创造出现存的所有维度。这四个数字之和“10”则是一个神圣的数字，被称为“圣十”（*tetractys*）。㊟

毕达哥拉斯学派崇尚素食，滴酒不沾。他们相信灵魂转世；他们进行一项神秘的黑暗仪式；他们的教义称音符间隔揭示了宇宙深奥的真理（很久之后，这一理论被发展成为中世纪的天体和谐说）。但其奥秘教义与真实的、严谨的数学相交织。大多数七年级学生接触到的第一个几何学定理——毕达哥拉斯定理——早就为古代数学家所知（古埃及人肯定也知道），但却是毕达哥拉斯学派首次将这一定理定义为一条普遍定律，一条适用于**所有**直角三角形的真理。㊟

这一定理似乎使得毕达哥拉斯学派意识到无理数的存在，显然，这还是有史以来第一次。

后来许多人在书中都把这一发现归功于公元前400年之前的毕达哥拉斯学派哲学家希帕索斯（Hippasus）。希帕索斯在研究三角形时发现，$c$和$a$之比是无法用一个个位数来表示的。这两边是不能通约的，因为它们没有公约数。换句话说，我们是不可能通过毕达哥拉斯学派的那种方法用数字来表示它们之间的关系的；比如说，我们不可能说$a$比$c$等于1/3或1/4。从几何学中发现了不可通约数，并在随后不久带来了算术方面的相应发现：**无理数**——无法以整数之比来表示的数。

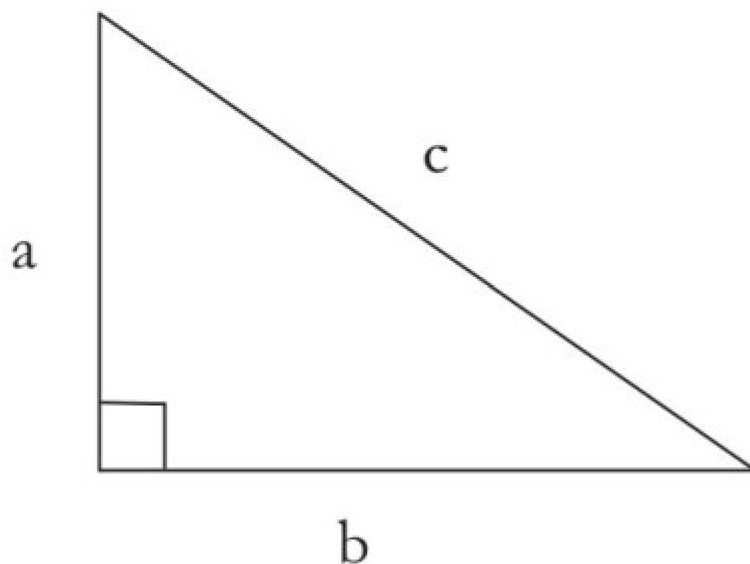



图4.1 毕达哥拉斯定理：$a^2 + b^2 = c^2$

显然，这是对毕达哥拉斯神秘主义的巨大打击。因为该主义的基石便是：所有的自然关系都可以用比率来表示。希帕索斯的发现引起了恐慌，宇宙的怒火因此不幸降临到了他头上。“尽人皆知，”一位后世评论家说，“将无理数理论首次公之于众的人死于海难，这样，（宇宙）不可言表、难以理解的一面就将永远不会被揭开。”注

如此强烈地规避现实世界应用的数学传统在科学领域也许不会发挥什么作用；毕达哥拉斯数学出现后的头几个世纪，不仅将外行人拒之门外，还与缓慢发展的科学新领域相分离。它是宗教而非科学，它几乎是完全为了思考上帝，而不是为了研究尘世的事情而设计出来的。

※

尽管亚里士多德学派和柏拉图学派的科学著作中都几乎没有提到过数学，但是造成这一现象的出发点则完全不同。

亚里士多德只想知道事物本质是什么，对它们的尺寸并不感兴趣。在亚里士多德看来，重量、高度、圆周长、直径：这一切都是变化的，它们无法体现自然界事物的本质。数学无法帮助他洞察一株植物的**植物性**（plantness），或者是水的**水性**（waterness）。他的自然分类法就像他的物理学一样，利用的是事物的属性，而非数量；比如说，血液的状态而非心脏的尺寸，掘洞生物的习性而非洞穴的尺寸。他认为，数学（与这些属性）是毫不相干的。

但是对柏拉图而言，数学是极其重要的——前提是它不因与物质世界接触而腐化。

《理想国》（*Republic*）第七卷中的“洞穴之喻”（Allegory of the Cave）非常有名，其中，柏拉图对他的观点进行了最明确的解释。他坚称，存在于造物主心中的那个理想的、未被腐化的完美宇宙与我们居住着的这个可见的、劣质的复制品是不同的。不懂哲学的人只能看见这个复制品。他就像一个被锁链束缚在洞穴里的囚徒，只能看到面前洞壁上外界真实事物的影子，而看不到真实的世界。囚徒一旦被释放，并被带到洞穴之外阳光下的世界，外面的光线会刺痛他的眼睛，令他目眩而看不清任何东西。他情愿回到洞穴的樊笼中，宁可去盯着影子，也不愿看到现实。

所以，不懂哲学的人一定要被慢慢地带出“洞穴”，带到他出生的世界，让哲学知识的阳光包裹他。他要接受教育，去**理解**理想的宇宙；这样，他就会不再满足于那个复制品了。算术和几何学就是达成这一转变的工具。由于算术始于区分一些概念：**单数**与**复数**，一与多，一与无限，因此算术就拥有“一种将思维汇聚并转化为对真实存在进行冥思的力量”。同样，几何学也将灵魂引向真理，并创造出了之前从未有过的“哲学精神”。(注)

但是只有当它们被用于处理抽象概念的时候，算术和几何学才有这种力量。柏拉图告诫说，算术的研究一定要“遵循哲学家的精神，而不是遵循商店老板的精神……算术拥有非常巨大、发人深省的影响，它会驱使灵魂去理解抽象的数字，并拒绝将任何可见的或有形的物体引入讨论”。几何学的应用也一定不能像大多数几何学家那样（“他们心中只有应用，且总是狭隘又滑稽地对求面积、扩展运算或应用等滔滔不绝——他们混淆了几何学的需要和生活的需要。”），几何学应当被作为一种理解理想世界形式的方法。“通过几何学所要获得的知识，”柏拉图解释道，“是关于永恒的知识，而不是关于任何正在消亡或转瞬即逝的事物的知识。”

事实上，柏拉图哲学观认为，只要不掺入任何感觉，理性就可以产生真理；因此，他对任何因观察得出的算术结论都感到怀疑。这就让他小心谨慎，比如说，对天文学。天文学家观测天体过去的运动，进行分析，并通过数学计算出它们未来的位置。但是这样的计算将观察——人的感觉——融入数学计算中，因此也就把计算从理想的世界带到了影子的世界。因此，柏拉图在肯定天文学计算的价值的同时，也警告天文学家们不要自认为自己的理论真的**揭示了**宇宙。天文学家的结论可能只是**接近**真理，但绝对算不上**真理**。[注]

数学界驱逐现实世界的言论仍旧在我们心中回响；尽管应用型数学不再被鄙夷为“开商店（之法）”，但是理论学家仍然对自己的领域“纯数学”这一命题自命不凡。[注]



不顾柏拉图的鄙夷，数学家们不断努力寻找数学和自然科学的交叉点。

其实，柏拉图对“开商店式的”数学家们的尖刻指责可能是针对一个同代人的，这个人就是毕达哥拉斯学派的数学家阿契塔

（Archytas）——他竟敢将数学应用于解决真实世界的真实问题，这使他脱离了神秘主义的行列。3世纪的传记作家第欧根尼·拉尔修（Diogenes Laertius）称阿契塔是“将数学原理系统地应用于机械学的第一人”。传说阿契塔发明了一只可以飞的木鸽子。在《政治学》（*Politics*）中亚里士多德不假思索地说，由于小孩子们总是安静不下来，应该给他们一个阿契塔设计的玩具拨浪鼓，这样就可以让他们忙着玩拨浪鼓而“停止破坏家里的东西”。但是，阿契塔的手稿只留下了只言片语，且这些对我们了解他的科学追求毫无帮助。注

直到3世纪中期，才有一篇科学文章在调查过程中用到了数学的方法——这篇文章存留至今。这篇文章题为“数沙者”（“The Sand-Reckoner”），作者是阿基米德（Archimedes），他是西西里的锡拉库扎城（Syracuse）的居民。注

阿基米德拥有阿契塔所不具备的优势：一部欧几里得（约公元前325—前265年）写的手册《几何原本》（*Elements*）；这部手册共有13卷，汇集了几个世纪以来在毕达哥拉斯学派中传播的几何学知识，完全脱离了神秘主义和宗教思想。《几何原本》开篇是一系列的定义（“一个点就是指一个不含其他部分的……钝角是大于直角的角……”），然后就是欧几里得所说的“公设”和“公理”——二者都显而易见，因而也就不证自明了。其中，公设主要应用于几何学（“所有的直角都是相等的”），而公理则应用于几何学以及其他学科（“总体要比部分大”）。

但是，欧几里得这部书的重点在于几何学证明部分——他给出了一系列问题以及解法，证明了几何学定律适用于任何场合、任何时间、任何人。再也没有比欧几里得的证明更明晰易懂的了。明白他的初始假设，并借助一把尺子和一副圆规，任何人（而不仅仅是具备了基本知识的内行）都可以理解他的体系。

大约700多年后，5世纪的希腊哲学家普洛克拉斯（Proclus）针对欧几里得的《几何原本》写了一篇全面的评论，其中提到了一个关于欧几里得和埃及国王托勒密一世（Ptolemy I）的家喻户晓的故事。托勒密是亚历山大大帝的前将军，绝对算不上是一位学者。但是他懂得学习的价值，并试图学习《几何原本》，却发现这本书的内容过多，超过了他的接受能力。因此他问欧几里得是否有更简单的方式能让他理解这些原理。“先生，”欧几里得回答道，“学习几何学没有坦途。”

这个故事也许是虚构的，但揭示了几何学的一个新真理，即（通往几何学的道路）没有捷径，没有神灵启示，无须祭祀仪式，也没有特权。《几何原本》将几何学从毕达哥拉斯学派中拯救出来，将其应用于现实世界。(注)

随即，阿基米德就开始利用这一新工具思考宇宙了。

阿基米德最为人所铭记的是他做出的一个发现；毕竟，要不是他，可能就不会有这个发现了。据阿基米德时代200多年之后的罗马传记作家维特鲁威（Vitruvius）记载，国王给了阿基米德一个任务，让他查清楚不诚实的金匠是否偷了一些铸造皇冠的黄金，并用廉价的银子顶替。皇冠看起来是用金子做的，重量也没有问题。但是它是纯金的吗？

“他心里想着这件案子，刚好他要洗澡了，”维特鲁威写道，“他进了澡盆，发现他的身体浸入水中越深，就有越多的水从澡盆里流出来。这为他破解手头这件案子指明了道路，他跳出澡盆，一路裸奔到家，大声叫喊着他找到了要找的东西；他一边跑，一边反复用希腊语喊着‘Eureka，eureka’［我找到（它）了］。”他刚刚意识到，因为银比金要轻，因此，一顶由纯金做成的皇冠要比一顶相同重量的掺银的金皇冠要小一点。所以，如果将掺假的（因此也就更大的）皇冠浸入一罐液体中，溢出的液体一定会比纯金的、略小一点的皇冠所排出的

液体要**多**。计算未掺假的皇冠应该溢出多少水，并与实际皇冠的溢水量对比，这样阿基米德就能够测量出皇冠中的含银量了。*Manifestum furtum redemptoris*（人赃俱获）：失窃的金子被追回了。(注)

维特鲁威的记述并不可信，这一点是出了名的，不止一位实验者指出，通过测量溢水量之间如此细微的差距来准确预测出皇冠的成分几乎是不可能的。但毫无疑问的是，阿基米德掌握了故事背后的科学。在《论浮体》（*On Floating Bodies*）一书中，他阐明了浮力定律（“阿基米德定律”），简单地说就是：“部分或完全浸入液体中的物体受到向上的浮力，浮力的大小等于物体所排开的液体的重量。”(注)

阿基米德写了几篇文章来扩展欧几里得几何学。此外，他还因一系列发明而为人称赞，其中包括阿基米德螺旋泵（一种将水从低处提升到高处的水泵）、船舶振动筛（一种机械爪，可将发动袭击的船只从水中托举起来）、天象仪，此外还有各种各样的杠杆。以上发明大多都无从证明是阿基米德的；阿基米德可能只是改进了它们，因为从他自己写的书中看不出是他发明了这些东西。

从书中我们看到的是一位懂得如何将自己的知识应用于解决科学问题的数学家。在他的文章《数沙者》中，阿基米德最终将几何学用于对自然世界的研究。

《数沙者》的引言相当直截了当：要用多少粒沙子才能填满整个宇宙？尽管这看上去不过是一个思维实验，但别忘了希腊人习惯于用比率来计算。阿基米德的问题不仅仅是“宇宙有多大”，而是，“用我们已有的数学工具来测量宇宙是否可行”，**比率**就是他说的这个工具；他求索的，是要发现两个尺寸相差巨大的自然物体之间是否存在一个有意义的关系：一粒沙和整个物质世界。

为了达到文中所说的目的，阿基米德决定采用一种尚有争议的宇宙模型——这一模型认为太阳位于宇宙的中心。在古代，人们普遍认

为，宇宙由相互交织的天体组成，各天体相当紧凑，而地球就在各个天体的中心。但是阿基米德认为这个小小的宇宙不会给他带来多大的挑战。

他要计算出另一套数据，它们适用于另一个宇宙模型，这个宇宙模型是由他的同代人萨摩斯岛的阿里斯塔克（Aristarchus of Samos）提出的。“你知道，”《数沙者》开篇写道，“‘宇宙’是大多数天文学家给以地球为中心的天体起的名字……但是萨摩斯岛的阿里斯塔克写了一本书，书中包括（这个）假设……即恒星和太阳是固定不动的，地球围着太阳做圆周运动，太阳位于轨道的中心。”(注)

据阿里斯塔克所说，恒星与宇宙中心的距离相当于1亿个地球直径那么远——这比地心模型中的距离要远**太多太多**。为了让宇宙**更大**，阿基米德规定“地球直径”（未知量）应该是100万个视距的距离。

100万个视距距离就接近于10万英里，这就太大了；地球的直径实际上只有约7900英里，且不同位置测量的直径也有差别。尽管如此，阿基米德关于宇宙尺寸的计算却得到了一个小得滑稽的结果。他推算宇宙的直径约为10万亿英里，我们现在知道10万亿英里还不到2光年；1光年大约是6万亿英里，而仅仅银河星系的直径就大约有12万光年。(注)

但是，实际的尺寸也无关紧要了。重要的是一个更大的问题：“用数学的语言来描述一个比我们过去所测量过的任何物体都大的实体是否可能？”

对于这个问题，阿基米德可以给出一个响亮的答复：“可以。”

尽管要表达出来真的有点儿复杂。希腊数字无法数出这么多沙粒。希腊书写体系中最大的数字就是“万”（myriad），即10 000，希腊语写作“M”。“万”也可以与其他数字相组合，比如说，既然ε

（epsilon，希腊语的第五个字母）代表5，Mε组合在一起就代表了5×10 000，即50 000。

用这一体系可以表示的最大数字就是“万万”了，或者说是万乘以它自身：1亿（100 000 000）。阿基米德需要更多的数字。因此当他最多到了100 000 000时，他又设计出将“万万”作为一个位运算，写作βM（β，即beta，代表2）。这就意味着他现在可以写出“亿”的倍数；比如说5亿（500 000 000）就是βMε。㊟

这可真算不上是世界上最简练的数字系统（举个例子来说吧，785 609 574 104必须写作 βM ζωνς αMϡνξ δρδ）㊟，但是这一系统可以让阿基米德计算出要用$10^{51}$颗沙粒才能填满阿里斯塔克的日心宇宙。这是科学家首次迫使数学服务于科学的目的，而不是科学服务于数学。阿基米德没有试图去将宇宙塑造成完美的、抽象的或者按照数学知识理想化的模型，他重塑了数学语言，使其与宇宙现实相吻合。

此外，他还传达了另一条非常清晰的信息。几个世纪以来，沙子代表了不可数的事物；“多如沙粒”、“多如繁星”，这样的语言等于是说：“这些都超过了我们的计数能力。”选择沙子来度量这个被恒星填满的天空，阿基米德借此做出了一个新的断言：宇宙中没有人类不可数或不可理解的事物。

阅读《数沙者》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

阿基米德

（约公元前287—前212年）

《数沙者》

读者可以找到19世纪托马斯·希思（Thomas Heath）经典译作的免费电子书。

Archimedes, *The Works of Archimedes*, trans.T.L.Heath, Cambridge University Press (e-book, 1897).

阿基米德，《阿基米德文集》，译者T.L.希思，剑桥大学出版社（电子书，1897年）。

多佛出版社（Dover）的纸质版本不仅包括了《数沙者》，也包括希思的序言以及阿基米德其他8篇较短的文章，比如《论球和圆柱》（“On the Sphere and Cylinder”）和《圆的度量》（“Measurement of a Circle”）。

Archimedes, *The Works of Archimedes on Mathematics*, trans.Thomas L.Heath, Dover Publications (paperback, 2013, ISBN 978-0486420844).

阿基米德，《阿基米德的数学文集》，译者托马斯·L.希思，多佛出版社（平装，2013年，ISBN 978-0486420844）。

希思的译本将阿基米德的希腊数字系统转化为英国读者可以读懂的指数。有些地方也在括号中保留了希腊数字的表达法。

---

1. 比如说，分数4 / 9，因为它是4与9之比（或者说，4除以9）；71，因为它是71与1之比（或者说，71除以1）；负11，因为它是负11与1之比（或者说，负11除以1）。也可以这样看：一个可用比率来表示的数字总是可用a / b这样的分数形式来表示，只要a和b都是整数，且b不为零。

2. 感谢罗素·科特雷尔（Russell Cottrell）的在线“希腊数字转换器”帮助我将阿拉伯数字转化为希腊数字。

3. .Malcolm Williams, *Science and Social Science: An Introduction* (Taylor & Francis, 2002), 11; Lewis Wolpert, *The Unnatural Nature of Science* (Harvard University Press, 1992),

35–36; Keith Devlin, *The Language of Mathematics: Making the Invisible Visible* (W.H.Freeman, 2000), 20.

4. .Kenneth S.Guthrie and David R.Fideler, *The Pythagorean Sourcebook and Library: An Anthology of Ancient Writings Which Relate to Pythagoras and Pythagorean Philosophy* (Phanes Press, 1987), 58.
5. .Richard Mankiewicz, *The Story of Mathematics* (Princeton University Press, 2000), 24.
6. .Guthrie and Fideler, *Pythagorean Sourcebook*, 60; Mankiewicz, *Story of Mathematics*, 24, 26; Devlin, *Language of Mathematics*, 21.
7. .Scholium to Euclid's *Elements*, quoted in Richard J.Trudeau, *The Non-Euclidean Revolution* (Birkhäuser, 1987), 103.
8. .Plato, *The Republic: The Complete and Unabridged Jowett Translation* (Vintage, 1991), 265, 279, 281.
9. .Margaret J.Osler, *Reconfiguring the World: Nature, God, and Human Understanding from the Middle Ages to Early Modern Europe* (Johns Hopkins University Press, 2010), 13–14.
10. .Plato, *Republic*, 280.
11. .Guthrie and Fideler, *Pythagorean Sourcebook*, 178; Carl Huffman, *Archytas of Tarentum: Pythagorean, Philosopher and Mathematician King* (Cambridge University Press, 2005), 303–4; Aristotle, *Politics*, trans.Ernest Barker, Oxford World's Classics (Oxford University Press, 1988), 311.
12. .Devlin, *Language of Mathematics*, 300.
13. .Euclid, *The Thirteen Books of the Elements*, 2nd ed., trans.Thomas L.Heath (Cambridge University Press, 1908), 1.
14. .Vitruvius Pollio, *Vitruvius: The Ten Books on Architecture*, trans.M.H.Morgan (Dover, 1960), 254; Mary Jaeger, *Archimedes and the Roman Imagination* (University of Michigan Press, 2008), 19.
15. .Keith Kendig, *Sink or Float: Thought Problems in Math and Physics* (Mathematical Association of Virginia, 2008), 67.
16. .Archimedes, "The Sand-Reckoner," in *The Works of Archimedes*, trans.Thomas.L.Heath (Cambridge University Press, 1897), 221–22.
17. .Alan W.Hirshfeld, *Parallax: The Race to Measure the Cosmos* (Birkhäuser, 2000), 12, 14–15.
18. .George Coyne and Michael Heller, *A Comprehensible Universe* (Springer, 2008), 22–24; Charles Seife, *Zero: The Biography of a Dangerous Idea* (Viking, 2000), pp.51–52.

# 05
# 真空

## 第一篇完全摒弃了上帝的有关自然的论文

一切都失败了，并在一个瞬间消亡。

——卢克莱修（Lucretius），

《物性论》（*On the Nature of Things*，约公元前60年）

阿基米德坚持计算的方法，亚里士多德致力于研究变化，柏拉图传授理想（世界的）形式，原子论者却仍坚持物质现实仅仅是由那些在无限真空中做不规律运动的不可分割的粒子组成的。

德谟克利特承认了众神的存在，但同时还认为神灵也仅仅是由原子和“真空”构成的，约公元前400年，德谟克利特辞世；后来，一位编年史家记载，德谟克利特104岁的时候决定不再进食了。他的门徒一代接着一代传承，把他的箴言一代代地传了下来。其中最成功的是伊壁鸠鲁（Epicurus），但他也是最著名的。伊壁鸠鲁是一个哲学学派的创始人，这个学派自大约公元前307年的时候就开始在他位于雅典的家中的花园里进行集会。伊壁鸠鲁将原子论发展成了一个完整的哲学体系——这一哲学体系将在伊壁鸠鲁去世两个世纪之后被用于科学上的探寻。注

如同泰勒斯、萨摩斯岛的阿里斯塔克和早期的原子论者一样，伊壁鸠鲁的作品并没有流传下来。只有极少的一些片段，以及伊壁鸠鲁写给希腊历史学家希罗多德（Herodotus）的一封信留存了下来。偶然

的是，这封信似乎是他教义的提要：他的教义则是极其世俗的哲学，世界上没有任何的范式或设计。

> 虚无中不可能产生任何事物……整体之外别无他物，其他的事物也不可能进入整体或对整体产生影响。

> 凡是存在着的，要么是实体，要么就是一个“空”间……我们管这个“空”间叫作“真空”。……在实体和“空”间二者之外，很难想象还有其他事物的存在。

> 构成实体自然的都是原子，或者说是不可分割物。

> 在恒久的时间里，原子在持续不断地运动。

> 因为原子和“空”间都是永恒存在的，因而这种运动没有绝对的起点。注

像德谟克利特一样，伊壁鸠鲁在他周围只看到了一个“无限的、机械化的、由相互作用的粒子构成的宇宙”。我们周遭的物质实体，他解释道，并非是因神灵的介入而创造出来的，而是因为原子——在真空中不停地旋转——不时意外跳跃，它向旁边随意一跃，撞上另一个原子，然后结合在一起，形成了新的实体。注

但伊壁鸠鲁对原子科学并不是特别感兴趣。他关注知识，并非因其是知识；他并不欣赏科学理论之美，对自然世界机制的理解也不会让他感到心满意足。他关注的是道德方面的东西：居住在这样一个世界里，人类该如何**行动**？既然不存在神灵的计划、后世和不朽的灵

魂，我们又该怎样活着？在这样一个冷漠的、没有人情味的宇宙里漂泊，没有引路人，只能冒险，也无法保证安全到达遥远的彼岸，人类如何才能得到*ataraxia*——心灵的安宁？“记住，”他在写给门徒比索克莱（Pythocles）的信中说，“跟其他所有事物一样，关于天体现象的知识……就是为了达到心灵的安宁，获得坚定的信念，除此之外，没有其他的目的。”注

正如伊壁鸠鲁的敌人后来所坚称的，无所用心地沉浸于声色犬马之中是无法达到心灵的安宁的。但是，伊壁鸠鲁所看重的事物并不遵照上帝的规定。他认为，快乐在于没有恐惧：对疼痛、贫穷或死亡的恐惧。是的，恐惧可以通过感官的愉悦来消除，但是愉悦的前提是要做到谨慎、适度，且心怀道德和责任感。

伊壁鸠鲁去世200多年之后，他的门徒卢克莱修（Lucretius）——一位接受了希腊哲学教育的罗马人，以文风简明而著称——以长诗的形式重述了伊壁鸠鲁的教义。De rerum natura（《论宇宙的本质》，更为字字对应的翻译是《论万物的本质》）一书阐释了伊壁鸠鲁学派原子论可能对自然科学研究带来的影响。最重要的是，卢克莱修坚持认为，只有伊壁鸠鲁学派纯粹的唯物主义才能使理智的观点——真正的**科学**观点——成为可能。只要人类仍然相信超自然设计者或运动者的存在，即便它很仁慈，人类也还是会继续遭受“恐惧以及心灵的黑暗”。

只有当人类承认宇宙除了物质之外别无他物时，才能获得清晰的思维，真正理解物质现实的能力以及（最重要的）心灵的安宁。再无他物：我们脚下没有地狱，我们头顶也只有天空。卢克莱修堪称是古时候的理查德·道金斯注；他对自己的唯物论充满激情，对那些坚持超自然解释的人予以尖锐的抨击。他在《论宇宙的本质》第一卷中写道：

> 神灵之力从没创造出什么，它们不能无中生有。人类之所以被恐惧抓住不放，是因为他们只看到了地球上和天空中发生的一切，却看不到原因，因此他们将这一切归因于上帝的意志。相应地，一旦我们知道了无中不可生有，我们就对前方的道路有了一个更清晰的图景，我们就更清楚了没有众神的帮助万事万物是如何产生或发生的。㊟

摒弃了灵魂不朽并接受了一切归于死亡的观点之后，人类的心灵就获得了思维的自由。对“死亡时无尽惩罚”的恐惧除了模糊理解、扭曲理性之外别无他用。

不再相信灵魂不朽，卢克莱修推理出了一系列关于宇宙的断言。组成我们所见到的一切的原子在“不停地运动”，并且它们形状不同，大小各异。地球并不是为了人类而存在的；否则，它本该比现在更适宜人类居住。相反，地球产生了动物和人类，它“自己创造出了人类这个物种”。灵魂是真实存在的，就像我们的躯体一样，灵魂也是由物质粒子或者说是由原子构成的——这样说来，原子就是“最微小的”了。因为它们太小了，所以我们理解不了。当躯体死去的时候，它们就分散在空气中，因此灵魂也就不再存在了。

但是，如卢克莱修在《论宇宙的本质》第二卷中解释的那样，原子论最核心的真理是一切都会终结。一切自然实体——太阳、月亮、海洋以及我们自身——都会衰老腐朽。没有什么能一直存活下去，没有什么能获得上帝的解救。准确地说，他们受到“不友善的原子”一次又一次地攻击，并慢慢地消失。并且，凡是适用于宇宙内物质个体的规律，也适用于宇宙本身。“因此，相似地，”他断定，“巨大世界的墙壁……也要遭受腐蚀，并最终颓断为腐朽的废墟……期待世界的框架会永远存在是徒劳的。”㊟

正如我们自身的消亡一样，宇宙消亡后不会存在任何后世。没有上帝来拯救我们的灵魂，上帝也不会介入来改变世界的轨迹。

※

卢克莱修并不是在进行科学研究。

他并没有用到阿基米德的计算方法。就连他所痛斥的祭司也能证明他们神灵的存在，然而他却没能为原子存在找到证据。他无法验证自己的断言是否正确。

但是在未来的几个世纪，他所宣称的定理将会成为现代科学的根基：在物质世界之外我们不可能找到解释。或者正如卢克莱修所写：

> 既然在整体之外别无他物，其他的事物也不可能进入整体，或对整体产生影响。

所存在的就是真正存在的。卢克莱修坚信自己不相信的就是不存在的，他希望能够将理性释放出来。

阅读《论宇宙的本质》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

卢克莱修

《论宇宙的本质》

（约公元前60年）

卢克莱修的这部关于古代世界的科学诗篇是用拉丁文撰写的。罗纳德·E.莱瑟姆（Ronald E.Latham）的诗歌译本的可读性较强，比较接

近现代诗歌，但目前只有企鹅出版社的印刷本。

Lucretius, *On the Nature of the Universe*, trans.Ronald E.Latham, Penguin Classics, revised sub.edition (paperback, 1994, ISBN 978-0140446104).

卢克莱修，《论宇宙的本质》，译者罗纳德·E.莱瑟姆，企鹅经典丛书，第二次修订版（平装，1994年，ISBN 978-0140446104）。

J.S.沃森（J.S.Watson）较早的、偏向直译的译本仍旧可读，读者可以找到该译本的电子书。

Titus Lucretius Carus, *On the Nature of Things*, trans.John Selby Watson, Henry G.Bohn (e-book, 1851).

提图斯·卢克莱修·卡鲁斯，《物性论》，译者约翰·塞尔比·沃森，亨利·G.博恩（电子书，1851年）。

若想读到与原著格式相近的诗歌译本，可以试试牛津世界经典丛书，该译本保留了原著的诗行形式。译文本身也简洁优美。

Lucretius, *On the Nature of the Universe*, trans.Ronald Melville, Oxford World’s Classics, Oxford University Press (paperback, 2009, ISBN 978-0199555147).

卢克莱修，《论宇宙的本质》，译者罗纳德·梅尔维尔，牛津世界经典丛书，牛津大学出版社（平装，2009年，ISBN 978-0199555147）。

1. 理查德·道金斯，英国著名进化生物学家、动物行为学家和科普作家，英国皇家科学院院士、牛津大学教授，是当今仍在世的最著名、最直言不讳的无神论者和进化论拥护者之一，有“达尔文的罗威纳犬”（Darwin’s Rottweiler）的称号。——译者注

2. .C.C.W.Taylor, *The Atomists: Leucippus and Democritus, Fragments* (University of Toronto Press, 1999), 60.
3. .Epicurus, “Letter to Herodotus,” in *Letters and Sayings of Epicurus*, trans.Odysseus Makridis (Barnes & Noble, 2005), 3–6.
4. .Anthony Gottlieb, *The Dream of Reason: A History of Philosophy from the Greeks to the Renaissance* (W.W.Norton, 2000), 290, 303.
5. .George Sarton, *A History of Science: Ancient Science through the Golden Age of Greece* (Harvard University Press, 1964), 495; Lucretius, *On the Nature of the Universe*, trans.Ronald Melville (Oxford University Press, 1997), xvii.
6. .Lucretius, *On the Nature of the Universe*, rev.sub.ed., trans.Ronald E.Latham (Penguin Classics, 1994), 13–14.
7. .Titus Lucretius Carus, *On the Nature of Things*, trans.John Selby Watson (Henry G.Bohn, 1851), 96.

# 06
# 地心说

## 史上最具影响力的科学著作

> 简单地说，如果地球不是位于宇宙中心，那么现有的一切秩序都将彻底陷入混乱。
>
> ——托勒密（Ptolemy），
>
> 《天文学大成》（*Almagest*，约公元150年）

到公元2世纪，天文学家们和数学家们利用亚里士多德物理学、阿基米德算法以及卢克莱修原理构想出了一个大错特错的宇宙模型。

他们认为，宇宙是球状的，包含五种物质：土、水、气、火以及第五种物质。第五种物质是非常神秘的，没有人见过，人们只是推测出它的存在——它就是“以太”（ether），人们认为以太占据了整个天体空间。

经过细致观察与严谨的推理，他们得出了一个显而易见的结论：我们的星球位于宇宙的中心。别忘了，当你朝天上抛出一把土或者泼洒一盆水时，它们最终会落到地面；因此，土和水显然可以被看作“重物质”，这意味着它们会被吸引到宇宙的中心。地球就是由重物质构成的。但是，考虑到地球并没有在太空中坠落（这一说法是科学的：从没人察觉到这一运动，因此这一运动就是不存在的），地球一定已经位于宇宙的正中心了。[注]

火和气不会坠落。事实上，我们见到的火甚至是向上运动的。所以，火和气就被归类为“轻物质”，这类物质不断地向上运动，**远离**中心。地球上方的行星，以及那七个彼此独立运动的星体——我们称之为“*asteres planetai*”（游荡的星体），似乎也不会被吸引到宇宙中心来；因此，它们也是由轻物质构成的。既然轻物质比重物质移动得更灵活、更快；显而易见的是，较轻的恒星就在围绕着较重的地球做圆周运动。做出与之相反的推断则会完全违背直觉。(注)

数学计算证实了这个模型的正确性。几个世纪的天文学记录——其中一些来源于巴比伦（Babylon）王国东部的占星术士，更多的则是源于希腊的观测家们；一年又一年，一个十年又一个十年，他们一直在对变化的天空进行跟踪——得到了庞大的原始数据。2世纪的天文学家们利用地心模型，可以精确地计算出恒星和七颗行星未来的位置。

其中蕴含了复杂而巧妙的数学计算。为了对星球的运动做出解释，希腊天文学家设计了星球的移动路径，每颗星球都会在其运行轨道上某处规律性地停止（一个“站”），随后原路折回运行一段距离（逆行），这段距离是可以预知、可以计算出来的。

如今，我们已经可以洞察天空，我们就很难理解古代天文学家的思维模式，因为那时他们只能站在地球上仰望天空，无法更近距离地去看了。但极有可能的是，希腊人并没打算把这个模型当作一个微缩的宇宙；他们并不相信，如果他们忽然被送到天空中，他们就会真的**看见**木星忽然掉头向后猛冲过来。相关的数学模型——并不是对天空逼真的描述，只是一系列的计算，通过这些计算，人们可以预测出某个星球或恒星三个月后、半年后或两年后的大致位置。数学是一种策略，一种诱骗宇宙主动揭开一部分谜团的方式，因为要寻找这谜团的答案超出了人类的知识范围。

这就是所谓的“拯救现象”——寻找可以与观测到的数据相吻合的几何学公式。这些计算在不停地调整着，并不能为天体运动的每一个变化做出解释。但对于领航员和计时员而言，这个计算结果是可靠的；当然，其精确度也可令天文学家自信——只要根据新数据不断地稍加调整——他们就不会走错方向。注

公元前2世纪中期，伟大的占星术士喜帕恰斯（Hipparchus）使用了其他的策略：他绘制出了月球以及其他星球的轨道，这些星球沿着这一轨道做小圆周运动（本轮），与此同时，它们也在大轨道（均轮）上做圆周运动。他还计算得知地球并不在均轮的中心，均轮的中心点略微偏离了理论上宇宙中心的位置（均轮是偏心圆）。注

利用这些方法，天文学家就能够精确地预测出任何恒星或行星在未来的位置。地心宇宙中，各个星球围绕着宇宙中心做复杂的旋转，这一宇宙模型是行得通的。约公元150年时，希腊天文学家托勒密开始将所有的发现与计算收录编纂成一本手册《天文学大成》（*Almagest*），以解释每一个天体的运动。喜帕恰斯的宇宙模型被奉为不容置疑的系统，这一模型还会继续存在一千多年，塑造每一位凝望天空的天文学家的思维。

《天文学大成》中不仅提到了喜帕恰斯的本轮和偏心圆，还有一个新的策略。由于找不到一个精确的等式使得各星球以同样的速度围绕各自的大轨道旋转，于是托勒密就提出，既然偏心圆应该位于均轮的中心，星球运动的**速度**就可以依据一个假想的不动点即偏心等距点（*equant*）来测得。

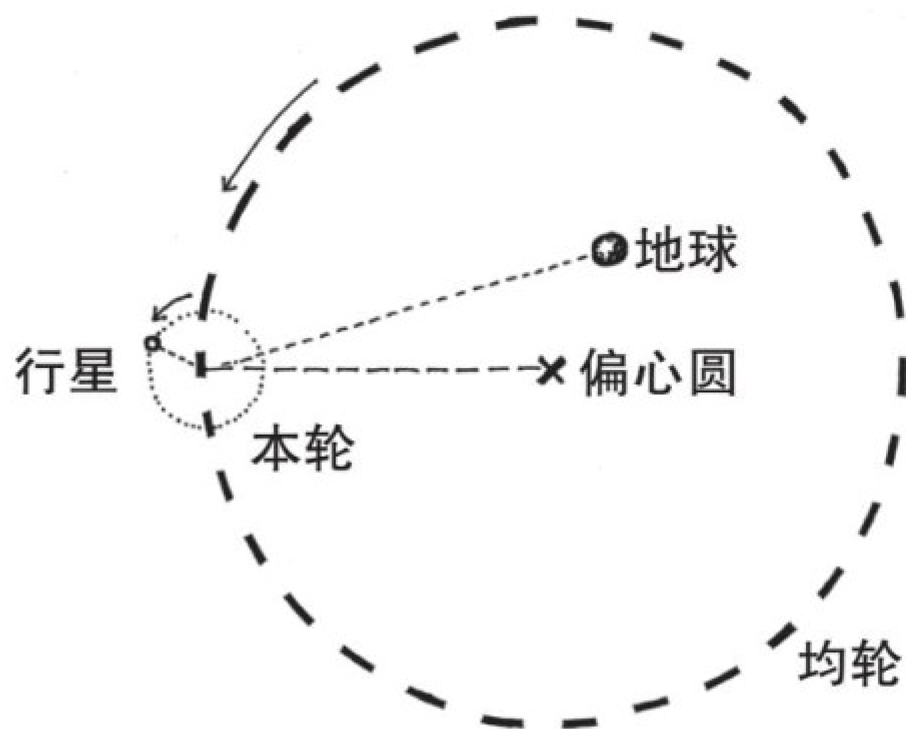



图6.1 喜帕恰斯的构想

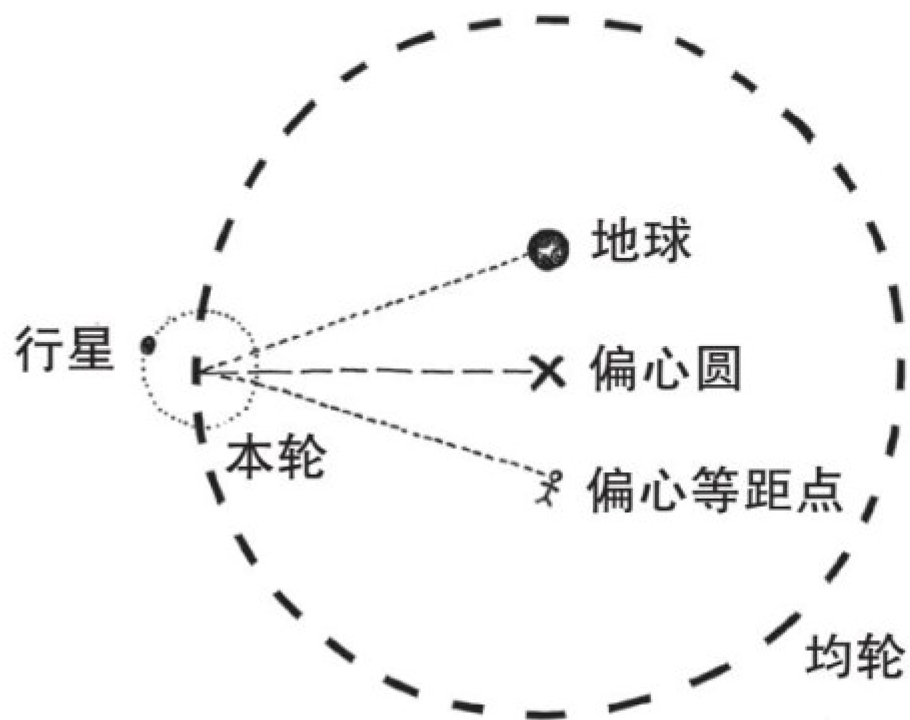



图6.2 托勒密的构想

偏心等距点的存在是不证自明的——为了能使各星球环绕均轮以完全一致的速度前进，我们就必须要从偏心等距点所在的位置开始测量。换句话说，这是一个数学骗局。但与本轮或偏心圆相比，这个骗局也算不上什么骗局了，而且考虑到它使得预测更加精确，因此它便成了天文学的一个传统。正如数学家克里斯托弗·林顿（Christopher Linton）所指出的，任何星球的轨道，不论它多么复杂，我们都可以利用偏心等距点、偏心圆，通过在本轮上再构造出一个本轮对其进行预测——这就揭示了为什么这一类型的运算一直到16世纪仍是“一切星球量化理论的基石”。[注]



接下来的1400年中，《天文学大成》几乎从没遭到过质疑。

在以君士坦丁堡（Constantinople）为中心的希腊语的帝国中，人们一直在研究《天文学大成》，也一直在实践相关的运算。但是一直没有创新，没有范式转变。地球位于宇宙中心仍旧是一条根本的真理，托勒密的本轮和偏心等距点学说被视为定理。

也许是《天文学大成》的有效性使其免受质疑；当结果是正确的（或基本上正确，拜占庭人就会满意了，他们对错误还是相当宽容的）时，就不会有人去对该方法详加审核。也许，就像H.弗洛里斯·科恩（H.Floris Cohen）所说的，拜占庭思想家对这一经典理论太熟悉了，因而就不会过分仔细地去检查它。但不管原因是什么，拜占庭学者都几乎没怎么写过科学文章。（“只有一阵子他们大量地抄袭与重组其他科学文章。”科恩说道。）拜占庭学者没有提出任何重要的问题，也没有对其他问题给出过答案。[注]

相比之下，阿拉伯天文学家做得更好一些。

地缘临近使得穆斯林学者既能获得希腊文献，也掌握了读懂这些文献的语言技能。约公元820年时，《天文学大成》被译成了阿拉伯语；天文学家艾哈迈德·阿尔-法甘尼（Ahmad al-Farghani）为托勒密的天文学著作作序，即《〈天文学大成〉概要》（*The Compendium of the Almagest*），这本书迅速成了阿拉伯世界权威的天文学著作。在众多天文学家中，9世纪天文学家泰比特·伊本·奎拉（Thabit ibn Qurra）和穆罕默德·伊本·贾比尔·阿尔巴塔（Muhammad ibn Jabir al-Battani）对理论进行了改进，以对托勒密的预测与他们的观察之间的差别做出解释。但总体上，伊斯兰教传统对科学知识本身并不关心。信仰的问题（《古兰经》的本质和灵魂的本质、逻辑的作用、柏拉图理论与亚里士多德理论在提供知识方面的关系）是穆斯林天文学家工作中更为关注的。因此，与同时期的君士坦丁堡天文学家一样，穆斯林天文学家也没有对托勒密的天体系统提出过本质上的质疑。注

在黑海的西部，欧洲学者们试图理解宇宙的努力就更少了。

别忘了，欧洲的教育根源于罗马的知识传统。由于罗马帝国（对希腊）的占领，罗马教育慢慢取代了希腊教育。罗马人的思想是非常务实的。他们重视的是能运用于法律或政治中的技能（比如雄辩术），对自然世界的研究则不那么重视，认为这项研究虽然有趣，但没什么实际用处。因此，（在罗马）对新科学的追求就破灭了。人们对希腊语的了解越来越少，对古希腊科学文本的理解也随之消失。注

罗马政治机器失败后，人们意识到了教育的作用；从5世纪到8世纪，教会学校开始复苏——但是这种教育是有倾向性的。西方大主教们希望能尽可能地从教育中获益，这就要保证将足够多的年轻人培养成未来合格的神职人员。这就要求进行传统文科的教育：表达［三学科（*trivium*），即语法、逻辑和修辞］以及知识［四艺（*quadrivium*），包括算术、几何、天文和音乐］。但是基督教教育则更多地传承了罗马教育的务实主义倾向，“三学科”也就比“四艺”更

有用。神职人员必须能识字，善言辞，通辩论。预测恒星的运动（的能力）是无关紧要的，更别提去掌握复杂的几何学了。

于是，对学生们的“四艺”教育就越来越浅，越来越少。他们不去钻研《天文学大成》中的难题，而去读那些对《天文学大成》结论（球状宇宙、地心宇宙、旋转天体）进行总结的摘要和手册，把相关数学计算抛诸脑后。这是非专业的天文学（就像是为诗人量身制定的物理学一样），因此，他们也就没有理由对托勒密的结论提出质疑——也没有理由去询问为何其中的运算会复杂到难以置信，令人迷惑。

随着时间流逝，手册和摘要就基本上取代了《天文学大成》原书。这一文献在西方世界越来越难见到了。受过教育的欧洲人都知道托勒密的宇宙，但对托勒密本人一无所知。地心宇宙成了常识；它不再是一条由某位科学家提出的、可能遭到反对的理论，而成了不言而喻、无人发起却被万人接受的道理。

直到12世纪，西班牙半岛的基督教王国将穆斯林王朝逼到南方，直到此时，《天文学大成》才得以重见天日。

这些穆斯林王朝已经统治半岛低洼海岸400多年之久。他们从东部带走了希腊文献的阿拉伯语译本，因此，这些译本现存在西班牙南部的图书馆中，欧洲人曾遗忘了它们，现在也得不到它们。但是，到12世纪30年代，穆斯林在南方的势力已经消退了。信奉基督教的国王征服者阿方索（Alfonso）统一北方四个王国为一个联合王国之后，又开始向地中海进击，他的后嗣纷纷效仿他。

到1200年，包括富庶之城托莱多（Toledo）以及馆藏丰富的阿拉伯图书馆在内的大部分南方区域都已经是基督教的天下。

欧洲学者可以自由往来于托莱多，这为他们接触崭新的文献敞开了大门。他们大多数人几乎不懂阿拉伯语，更别提希腊语了；但还有极小一部分人拥有足够的语言技能，他们将这些“遗失的”书籍重新译介给了他们的同事——比如多产的克雷默纳的杰拉德（Gerard of Cremona），他独自将70多部科学、数学和天文学的重要文献翻译成了拉丁文。注

过了一段时间后，西方天文学家才开始使用这本全新的、极其专业化的天文学、物理学和数学手册。几个世纪以来以语言为中心的教育导致欧洲学者们从没接受过复杂几何运算能力的练习；而要真正理解托勒密理论，这一能力是不可或缺的。科学学习的基础已经被完全地、真正地腐蚀掉了，重建则要耗费时日。

1453年，君士坦丁堡被奥斯曼帝国攻陷。这一时期，重建工作有了突飞猛进的进展。拜占庭帝国最终消亡了，大批操希腊语的学者离开奥斯曼帝国向西逃亡。

他们带走了一些宝贵的文献，但最重要的是，他们带走了知识：语言知识和处理数字的能力，以及他们的信念。在和平年代没有得到发展的希腊智慧遗产如今面临威胁，亟须保护。

这些学者中有约翰内斯·贝萨里昂（Johannes Bessarion）。他是一位高级牧师、藏书家，也是亚里士多德学派的专家，君士坦丁堡彻底沦陷10年前，他就从当时战乱频仍的君士坦丁堡逃到了意大利。现在，他又有了将希腊知识带到西方的动力。此外，他还做了其他的努力。他雇用了在维也纳大学工作的年轻德国专家乔治·柏巴赫（Georges Peurbach），让他为《天文学大成》重新编写手册：一本集翻译、摘要和评论于一体的手册。

柏巴赫那时已是一位小有成就的托勒密派天文学家，他曾写过一部畅销的学生手册，为初学者们总结了对宇宙的传统理解。尽管不会

希腊语，他还是接受了贝萨里昂交给他的任务，并开始撰写一本阿拉伯语文献。在完成了前6卷后，他却在38岁时突然病倒了。1461年4月，去世之前，柏巴赫要求学生约翰·缪勒（Johann Muller）——一位天才的25岁德国数学家——继续完成这项工作。

缪勒同意了。［缪勒更为人熟知的是他的拉丁名雷格蒙塔努斯（Regiomontanus）。］他放下了自己的工作，花了几年的时间完成了柏巴赫的工作——《〈天文学大成〉摘要》（*Epitome of the Almagest*）写成，此书可读性很强，对《天文学大成》进行了准确概括——毫不置疑地接受了《天文学大成》的前提，也毫不犹豫地指出了其中的错误（比如说，托勒密系统不得不歪曲了月球的尺寸）。这本手册是读者阅读晦涩的《天文学大成》的最佳指引。然而，在随后的25年，该手册读者寥寥——直到1496年，这部手册才用当时风靡整个欧洲的最先进的印刷技术排版印刷。注

但那时，雷格蒙塔努斯已经去世了；1476年7月，他40岁生日刚过了一个月，就死于了一种罕见的疾病。（翻译《天文学大成》似乎特别折寿。）但是《〈天文学大成〉摘要》出版之后，两位译者因他们将《天文学大成》传递给更广泛的读者的努力而备受称颂（死后）。“这两个最著名的人，”1515年数学家乔格·坦斯台特（Georg Tannstetter）说道，“有效地恢复了天文学这一最崇高的学科，此前，这一学科几乎要被人类彻底遗忘了。”注

坦斯台特也是一位德国人。他的这番话部分也是出于他的民族自豪感。后来《〈天文学大成〉摘要》的影响力堪与《天文学大成》媲美，甚至超过了后者。这本书不久便成为标准教科书，引导年轻的天文学家们获得对托勒密宇宙的全新的、清晰的理解。因为《〈天文学大成〉摘要》的问世，《天文学大成》才重新获得了其“天文学圣经”的地位。

但在还不到一代人的时间里，这本书就将面临重大的挑战。

阅读《天文学大成》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

托勒密

《天文学大成》

（约公元150年）

目前，《天文学大成》有两个现代译本：首先是R.凯次比·托利弗（R.Catesby Taliaferro）的译本，“西方世界的伟大著作”系列丛书第16卷第一篇就摘选了该译本，1952年由大英百科全书出版社出版。现在这部译本已经绝版，但仍被广泛使用，在大多数高等院校和公共图书馆均可找到。

Robert Maynard Hutchins, ed., *Ptolemy, Copernicus, Kepler* (Great Books of the Western World, vol.16), Encyclopedia Britannica (hardcover, 1952, ISBN 978-0852291634).

罗伯特·梅纳德·哈钦斯主编，《托勒密、哥白尼、开普勒》（“西方世界的伟大著作”系列丛书第16卷），大英百科全书出版社（精装，1952年，ISBN 978-0852291634）。

普林斯顿大学出版社出版的G.J.图默（G.J.Toomer）的译本较新，学术性和可读性兼顾，但价格较高。该译本含有大量的脚注和注解，便于读者理解《天文学大成》，但也因此比原著多出了700多页（因此该译本可能对那些真正的地中海天文学狂热者最合适）。

Ptolemy, *Ptolemy’s Almagest*, trans.G.J.Toomer, Princeton University Press (paperback, 1998, ISBN 978-0691002606).

托勒密，《托勒密的〈天文学大成〉》，译者G.J.图默，普林斯顿大学出版社（平装，1998年，ISBN 978-0691002606）。

1. 以太的存在是必要的，因为先前有一条逻辑原则：不存在空无一物的空间。宇宙中任何空间内都存在某种物质；所以，我们就要给这一物质命名。
2. 苏珊·怀斯·鲍尔在《世界史的故事·文艺复兴卷》（*The History of the Renaissance World*，诺顿出版社，2013年）一书第六章中对这一现象予以详细讨论。
3. .K.P.Moesgaard, “Astronomy,” in *Companion Encyclopedia of the History & Philosophy of the Mathematical Sciences*, ed.I.Grattan-Guinness (Routledge, 1994), 241–42; Margaret J.Osler, *Reconfiguring the World: Nature, God, and Human Understanding from the Middle Ages to Early Modern Europe* (Johns Hopkins University Press, 2010), 16.
4. .Norriss S.Hetherington, *Cosmology: Historical, Literary, Philosophical, Religious, and Scientific Perspectives* (CRC Press, 1993), 74–76.
5. .Osler, *Reconfiguring the World*, 15.
6. .C.M.Linton, *From Eudoxus to Einstein: A History of Mathematical Astronomy* (Cambridge University Press, 2008), 48.
7. .H.Floris Cohen, *How Modern Science Came into the World: Four Civilizations, One 17th-Century Breakthrough* (Amsterdam University Press, 2010), 53.
8. .Moesgaard, “Astronomy,” 243–45; Cohen, *How Modern Science Came*, 56.
9. .David C.Lindberg, *The Beginnings of Western Science*, 2nd ed.(University of Chicago Press, 2007), 249.
10. .Olaf Pedersen, *A Survey of the Almagest*, rev.ed.(Springer, 2011), 19; Linton, *From Eudoxus to Einstein*, 117; Albert van Helden, *Measuring the Universe: Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley* (University of Chicago Press, 1985), 171.
11. .Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science* (Columbia University Press, 1941), 5: 332.

# 07
# 古代最后一位天文学家

## 关于宇宙的另一种解释，该解释有更缜密的数学计算的支持，但除此之外就没有其他证据了

> 我常想，是否还能为天体运行轨道的分布找到一个更合理的解释。
>
> ——尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus），
>
> 《短论》（*Commentariolus*，1514年）

尼古拉·哥白尼对偏心等距点心怀疑问。

1491年，当时18岁的哥白尼还是克拉科夫大学（University of Cracow）的一名学生，那时他第一次读到《〈天文学大成〉摘要》。从一开始，他就对那些复杂而笨拙的轨道提出了质疑。整个托勒密模型是在亚里士多德物理学——重物质和轻物质的属性，以及前者向宇宙中心坠落的倾向——的基础上构建起来的，但是托勒密模型违背了亚里士多德的另一条核心原则，即天体总是在做圆周运动。偏心等距点和本轮二者都是名义上维持了星球的圆周轨道，事实上却都扭曲了轨道；只有眯着眼看，且必须使劲眯着眼看，托勒密的轨道才是圆形的。注

并且，每个星球都有其运动轨迹和特有法则。哥白尼后来写道，就像一位艺术家想画一个人，但是他分别依照不同的模特画出了

> 双手、双脚、头以及身体其他部位，每一部分都画得很好，但是无法组成一个完美的人体……最终的作品与其说是个人，不如说是个怪物。(注)

困扰着他的并不是托勒密体系的不准确，而是其粗糙的本质。

接下来的15年，哥白尼一边学习《天文学大成》，一边独自进行观测。就读克拉科夫大学5年后，他开始记录毕宿五（Aldebaran）上出现的食。又3年之后，他按照顺序详细记载了土星和月球的每一次相合。他在罗马讲授数学，自学了希腊语，并一直进行天象观测。(注)

到1514年，他构建了一条更为细致的理论。他以简洁易读的形式将该理论写了下来，删掉了其中所有的数学运算，并在朋友之间传阅。这份通俗的理论构想《短论》（*Commentariolus*）开篇承认托勒密系统总体上很好，能解释天体运动；哥白尼的主要目标是要摆脱该系统要求的数学运算。

> 尽管托勒密及其他大多数天文学家的天体理论与大量的数据一致……但仍存在较大的问题，即除非构想出相应的偏心等距点，否则这些理论是不成立的……我常想，是否还能为天体运行轨道的分布找到一个更合理的解释；根据该轨道分布，可推导出每一个均差，且其中的一切都会环绕各自中心点做一致运动。这也是绝对运动定律所规定的。在我着手设法解决这一极其困难、几乎不可解决的问题很长一段时间后，我才知道，如果我能做一些假设（或称之为公理），那么我就可以通过比之前更少、更简单的运算来解决这个问题了。(注)

这些假设非常简单："一切天体都以太阳为中心旋转，因此太阳是宇宙的中心。"地球只是"月球圆周"的中心，并且这一中心并不是固定不动的。相反，它围绕太阳在轨道上快速运转（就像其他的星球一

样），它运转速度惊人，这样才能在一年内完成一次环绕，除此之外，地球“每天围绕着其固定不变的地极做整周的自转”。地球的这一旋转事实上（给我们造成了）太阳在运动、其他行星在逆行（的错觉）。哥白尼的结论说：“地球运动本身……就足以解释天体中如此多的明显的不均等。”注

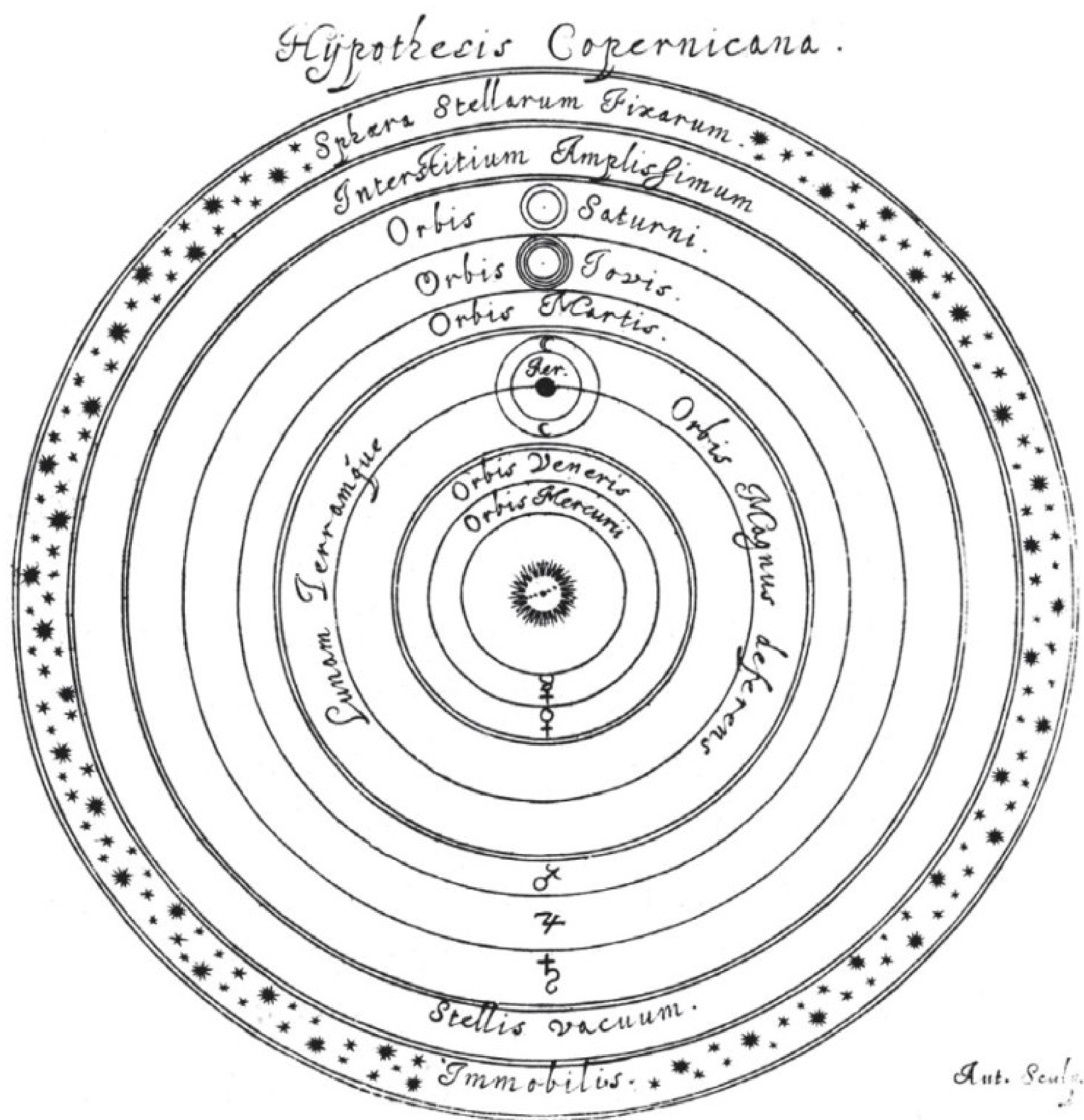



图7.1 哥白尼的宇宙观 ［17世纪，约翰内斯·赫瓦利斯（Johannes Hevalius）所作的草图］

1800年前，阿里斯塔克曾提出日心宇宙观，并说地球不停地运转；阿基米德在《数沙者》思维实验中利用了这一模型。但这一观点

从未获得太多的关注。但是与先前希腊的日心说思想家们相比，哥白尼的优势在于：他可以获得几个世纪以来的观测数据。托勒密体系从未达到过**百分百的**精确，其预测与现实之间总有一点儿延误和差异。随着数据积累，时间流逝，这一延误也愈加明显。正如托马斯·库恩（Thomas Kuhn）所指出的，行星环绕均轮和本轮所做的圆周运动就像钟表指针的运动一样，每年都慢一秒钟，可能10年甚至100年后，钟表看似还是准的；但是1000年之后，误差就会变得明显了。㊟

换言之，对《天文学大成》提出挑战的时机已经到了；随后的25年，哥白尼继续研究《短论》中提出的想法，补上了数学运算，使该书成为一本完整的手册。这是一本精心撰写的反《天文学大成》之作，其篇幅和复杂性都与备受推崇的《天文学大成》相匹敌，形式也类似。

这本书就是《天体运行论》（*On the Revolutions of the Heavenly Spheres*），是一部数学杰作。如此前的希腊天文学家一样，哥白尼决心要"拯救现象"——进行一系列计算，使其与数据相吻合。不同之处在于：哥白尼认为星球是围绕太阳而非地球运转的。他成功地做到了这一点，并且没有用到托勒密的偏心圆旋转。正如他唯一的、私下教授的学生雷蒂库斯（Rheticus）所言，哥白尼把天文学从偏心等距点（的束缚中）"解放出来"。㊟

但是《天体运行论》这本书，即便是其定本也仍有大量值得商榷的问题。

一方面，为了能完全拯救天体现象，与信奉托勒密体系的天文学家相比，哥白尼不得不引入更多彼此相连、不断旋转的天体；他撇开了偏心等距点，但没有脱离天体中的那个极其精细的传动装置。另一方面，他所坚称的地球一边自转一边以极快的速度在太空运行的这一说法，明显与普通人的经验不符。显而易见的是，大家都知道，人向

上跳起后会落回原地；当一个人跳起在空中时，地球不会从他脚下“嗖”的一下移开。16世纪的物理学根本无法解释这一现实情景，更合理的做法似乎就是相信地球就如我们所看到的那样——完全静止。注

此外，日心说理论似乎与《圣经·约书亚记》第十章第12—13节的诠释相矛盾，《圣经》中这一段说，太阳和月亮都是“静止”的，并不是环绕地球不停地运动的。其实，这其中的神学问题实际上不如科学问题更棘手，但是二者结合在一起，就会对哥白尼的新模型产生很大的怀疑。

人们普遍对此产生怀疑，事实上，当1543年《天体运行论》首次出版印刷时，书中附加了一篇匿名导言，导言解释道，日心说模型只是一种计算的工具，是另一种拯救天体现象的数学方法。“这些假设不必是真的，甚至不必有可能是真的。”导言向谨慎的读者坦言，“相反，如果这些假说能提供一个与观察结果相吻合的计算法，这就够了……提出这些假说，并不是要试图说服每个人相信它们是正确的，而只是为计算提供一个可靠的基础。”注

哥白尼甚至可能都没有看见这份免责声明，人们普遍认为这份声明是他的朋友安德鲁·奥西安德尔（Andrew Osiander）写的。他委托安德鲁·奥西安德尔负责《天体运行论》的印刷事宜。哥白尼的其他文章清楚表明他相信自己的模型是对现实的准确反映。与喜帕恰斯不同，他认为如果他被送到太空中，他就会看到地球在老老实实地绕着太阳运行。

但是，尽管对自己的理论深信不疑，哥白尼也意识到，当时没有证据可以证明他的日心说模型是正确的。他与古代天文学家在做一模一样的事：构造出另一种模型，经运算这种模型可以给出一个相当精确的答案。

在哥白尼撰写的序言中——他把这部作品献给了罗马教皇保罗三世（Paul III）——指出地心理论本身就是*incertitudo mathematicarum traditionum*，“一种无法确定的数学传统”，他的模型只不过是另一种可供选择的数学提议。“因为我知道，在我之前，为了能证实星体现象，科学家们被允许可以随意构造出任何轨道。”哥白尼说道，“我想我已做好准备，一旦允许我去进行测试……我的论证会比前人的更稳固。”注

**更稳固的论证：**哥白尼有意拒绝断言自己的日心说是现实实在。像希腊原子论者一样，他实际上是恰巧一头撞在了真理上。并且，像希腊原子论者一样，他也没有办法证实自己的结论。他很清楚这一事实。

他刻意背离自己观点的巧言暂时达到了其目的。罗马教皇保罗三世愉快地接受了他的献词，《天体运行论》在接下来70年里都被摆放在了教堂的显著位置。但是在他的这部著作中，他的真实想法尽管受到压制，但还是不可阻挡地、时不时地显现出来。第一章中间部分，他写下了自己系统中争议最大的观点：只有认为地球是运动的，并且认为太阳的位置处于“宇宙中心”，才能解释行星的运动。“整个宇宙的和谐告诉了我们真相。”他写道，“只要——如他们所说——我们用双眼去看待这件事。”注

但即使是双眼并用，人类也无法为日心说找到证据。

阅读《短论》及《天体运行论》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

如果你像哥白尼的朋友们一样，只想看看结论而不想去看数学计算，你可以阅读《短论》，这本书要比《天体运行论》简短一些。如果你享受纠结于几何学证明，那么你可以选择这部较长的作品。

尼古拉·哥白尼

《短论》

（1514年）

《短论》包括了由哥白尼的拥护者雷蒂库斯撰写的概要［即《概述》（*Narratio prima*）］以及哥白尼写给天文学家约翰内斯·沃纳（Johannes Werner）的一封信［《反对沃纳的信》（*Letter against Werner*）］，信中哥白尼反对沃纳的计算，这些都收录在了平装本《哥白尼三论著》（*Three Copernican Treatises*）中。

Edward Rosen, trans., *Three Copernican Treatises*, 2nd revised edition, Dover Publications (paperback, 2004, ISBN 978-0486436050).

爱德华·罗森译，《哥白尼三论著》第二次修订版，多佛出版社（平装，2004年，ISBN 978-0486436050）。

尼古拉·哥白尼

《天体运行论》

（1543年）

20世纪早期的译本出自查尔斯·格伦·沃利斯（Charles Glenn Wallis）之手，这部译本已被以平装的形式再版。

Nicolaus Copernicus, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*, trans.Charles Glenn Wallis, Prometheus Books (paperback, 1995, ISBN 978-1573920353).

尼古拉·哥白尼，《天体运行论》，译者查尔斯·格伦·沃利斯，普罗米修斯图书（平装，1995年，ISBN 978-1573920353）。

该译本的另一个版本中附有斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）撰写的序言。

Nicolaus Copernicus, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*, trans.Charles Glenn Wallis, ed.Stephen Hawking, Running Press (paperback, 2002, ISBN 0-7624-2021-9).

尼古拉·哥白尼，《天体运行论》，译者查尔斯·格伦·沃利斯，主编斯蒂芬·霍金，Running Press（平装，2002年，ISBN 0-7624-2021-9）。

1. .H.Floris Cohen, *How Modern Science Came into the World: Four Civilizations, One 17th-Century Breakthrough* (Amsterdam University Press, 2010), 106.

2. .“Preface,” in *De revolutionibus*, quoted in Thomas S.Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Harvard University Press, 1957), 137.

3. .Jack Repcheck, *Copernicus’ Secret: How the Scientific Revolution Began* (Simon & Schuster, 2007), 48.

4. .Nicolaus Copernicus, *Three Copernican Treatises*, trans.Edward Rosen (Dover, 1959), 57.

5. .Ibid., 58–59.

6. .Kuhn, *Copernican Revolution*, 140.

7. .Cohen, *How Modern Science Came*, 106; C.M.Linton, *From Eudoxus to Einstein: A History of Mathematical Astronomy* (Cambridge University Press, 2008), 121, 126.

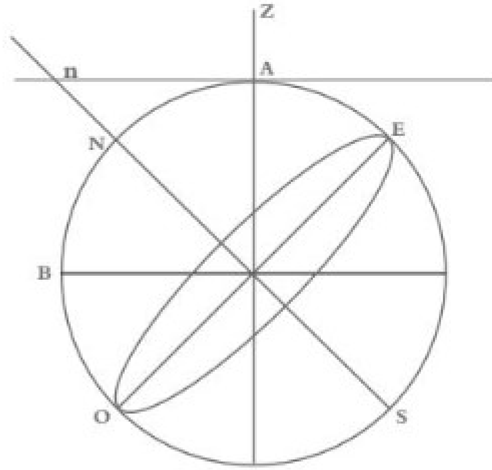
8. .Maurice A.Finocchiaro, *Defending Copernicus and Galileo: Critical Reasoning in the Two Affairs* (Springer, 2010), xiv.

9. .Quoted in Linton, *From Eudoxus to Einstein*, 126–27.

10. .Wim Verbaal, Yanick Maes, and Jan Papy, eds., *Latinitas perennis*, vol.1, *The Continuity of Latin Literature* (Brill, 2007), 133; Nicolaus Copernicus, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*, trans.Charles Glenn Wallis (Prometheus Books, 1995), 6.

11. .Copernicus, *On the Revolutions*, 18.

# 第二部分
# 方法的诞生




---

弗朗西斯·培根（Francis Bacon），《新工具》（*Novum organum*，1620年）

威廉·哈维（William Harvey），《心血运动论》（*De motu cordis*，1628年）

伽利略·伽利雷（Galileo Galilei），《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》

（*Dialogue concerning the Two Chief World Systems*，1632年）

罗伯特·波义耳（Robert Boyle），《怀疑派的化学家》（*The Sceptical Chymist*，1661年）

罗伯特·克（Robert Hooke），《显微图谱》（*Micrographia*，1665年）

艾萨克·牛顿（Isaac Newton），《自然哲学的数学原理》（*Philosophiae naturalis principia mathematica*，1687、1713、1726年）

---

# 08
# 新提议

## 对亚里士多德的挑战，对科学方法的最早表述

现在使用的逻辑……弊大于利。

——弗朗西斯·培根（Francis Bacon），

《新工具》（*Novum organum*，1620年）

哥白尼的构想已存在一个世纪之久，却仍旧没有带来什么变化。他的理论始终被排挤在主流思想之外。从亚里士多德物理学的角度来看，他的理论是不合理的；如果地球围绕太阳转，为什么生活在地球表面的人感受不到地球穿过空气而运动呢？对此，哥白尼没能成功地给出解释。

《天体运行论》出版30年后，丹麦天文学家第谷·布拉赫（Tycho Brahe）提出了一种可能的解决方法。第谷·布拉赫是哥白尼体系的支持者。（“这一创新理论巧妙而完全地规避了托勒密天体系统的赘余与不协调。”他写道。）日心说体系声称，地球“庞大懒惰的身体实在不适合运动”，但快速移动起来“就像那些缥缈的（星星）”。那要是地球与太阳、月亮一起保持静止，恒星围绕着地球旋转——而其他五颗行星在围绕太阳旋转会怎么样呢？(注)

第谷作为一颗新恒星的第一发现人而闻名，他给它命名为“新星”（*nova stella*）——这一术语在现代人仍旧沿用，即“超新星”（*supernova*）。他精巧的组合体系既解决了物理问题，又解释了

天体的运动。但是跟哥白尼一样，第谷提供不出任何证据。没有证据，第谷和哥白尼的体系都无法比托勒密的解释更令人信服。

于是乎，至此仍然没有理由去重新思考托勒密理论，也没有理由去挑战亚里士多德的权威。



1603年，出生于伦敦的弗朗西斯·培根已经43岁了。他是一位训练有素的律师兼业余哲学家，婚姻幸福，拥有政治抱负，但一直债务缠身。

他曾在王室任职，忠诚地为英格兰女王伊丽莎白一世（Elizabeth I）效力，但没有得到足够的认可。伊丽莎白一世69岁时去世，将王位传给了她的表侄孙——苏格兰国王詹姆士六世（James VI），他同时也是英国国王詹姆士一世（James I）。

弗朗西斯·培根希望新任国王能使他的境遇有所改善，但当时，他对英国皇室根本就没有什么特别作用。他不得不耐心等待，其间他着手进行已在心中酝酿多年的哲学研究——对人类知识的研究，他称其为《论学术的进展》（*Of the Proficience and Advancement of Learning*）、《神与人》（*Divine and Human*）。

如他对待大多数工作一样，培根对这一研究也怀有不可思议的野心。他决心将所有知识进行恰当归类，并找到一切可能对理解造成的阻碍。第一部分批判了他所谓的学习的三种“不良情绪”，其中包括“徒劳的想象”，比如对占星术和炼金术这种根本没有现实基础的事物的追求；第二部分把所有知识分为三个分支，并建议自然哲学应该占据首要位置。科学，即理解宇宙的工程，是人类可以进行的最重大的事业。对历史（“所有发生过的事情”）和诗（富于想象力的写作）的研究必然应该排在第二和第三位。注

但培根当时并没有对这些观点充分展开阐述。《论学术的进展》开篇就是对詹姆士一世的溢美之词。（“我已被震撼——是的，并被折服——使我极度惊叹的是您的美德和天赋……您出众的能力、超强的记忆力、快速的理解力、犀利的判断力，以及您演讲的水平和缜密的逻辑……自基督诞生以来，还从没有哪位国王或现世君主能如此博学，能对一切文学和学问都掌握得炉火纯青，不管是神还是人都没能做到。”）这一番奉承不久就有了回报。1607年，培根被任命为首席检察官，他已渴望这一职位多年，随后10年左右，他把精力投入到了自己的政治职责中去。

1618年他又晋升为英格兰的大陆官，那时他才重新开始自己的自然哲学研究。既然他已爬到了政治土丘的顶峰，他宣称意欲撰写一部视野更广的作品——一个全新的、完整的哲学体系，该体系会塑造人类的思想，引领他们走向全新的真理。他给这部巨著命名为“伟大的复兴”（*Great Instauration*）：伟大的成就，一种全新的思考方式，这本书一共包括六部分。

第一部分概述了现存的“古代知识”，重申了《论学术的进展》的观点。第二部分于1620年出版，这是相对独立的一部分，提出了标新立异的观点。该部分对亚里士多德的方法提出全面挑战，是一个全新的“更好地利用了理性的学说”[注]。

亚里士多德思想极大地依赖于演绎推理——对古代逻辑学家和哲学家而言，演绎推理是通向真理的最高尚、最好的道路。演绎推理就是从一般性的陈述（前提）出发，得出具体结论的过程。

**大前提：** 一切重物质都向宇宙中心坠落

**小前提：** 地球就是由重物质组成的

**小前提：** 地球并没有坠落

**结论：**地球一定已经处于宇宙的中心了

但是培根认为演绎推理是一条死路，它歪曲了证据。“人们一开始就根据自己的意愿决定了问题，”他反对道，“然后依靠经验，迫使她遵从他的赞成（表达同意），就这样左右她，使她就好像游街的囚犯一样。”他辩驳道，认真的思考者一定要遵从另一种推理的思路，即从具体的证据出发获得一般性结论；从个别的证据出发，通过归纳，获得一个更普遍的论断。注

这种新的思考方式——**归纳推理**——包含三个步骤。培根解释道：

> 真正的方法是，首先点燃蜡烛，借烛光看清道路；在对经验进行组织和吸收之后开始，经验仍混乱或不稳定时绝不开始，从中推导出公理，然后依据已确认的公理开始新的实验。

换句话说，自然哲学家必须对与世界如何运作有个想法：“点燃蜡烛。”然后，他要以物质现实以及“有组织的经验”来检验这一想法——既要对周遭的世界进行观察，又要精心设计实验。只有这样，才能达到最后一步，就是“推导出公理”，得到一个可称为真理的理论。注

假说、实验、结论：培根描绘出了科学方法的轮廓。

当然，它还没有发展成熟。但是培根《伟大的复兴》第二部分明显是对亚里士多德学派文献中的演绎思想的一个挑战。培根甚至为它命名为*Novum organum*（《新工具》），这是根据亚里士多德的逻辑学文献《工具论》（*Organon*）而命名的。在《新工具》的封面上，培根放了一艘船——他全新的归纳法——凯旋，途经“赫拉克勒斯之柱”（the Pillars of Hercules，亦译赫勒斯滂海峡），这个神话中的石柱

代表了大力神赫拉克勒斯去往“极西”时所到达的最远的地方。古代大多数作者都认为该石柱位于直布罗陀海峡（Strait of Gibraltar）的岬角，该石柱就代表了古代世界的最外缘，也就是古代知识的极限。㊟

《新工具》出版仅一年后，弗朗西斯·培根就被政敌控告受贿。尽管他抗议说他拥有“干净的双手和内心”，他还是无法推翻指控。他因此被免职，并处罚款，被暂时监禁在伦敦塔内；尽管詹姆士一世最终豁免了他的罚金并赦免了他，这一丑闻迅速地传播开来。五年后他死于肺炎，留下了未竟的《伟大的复兴》。㊟

但是，《新工具》一书继续影响着17世纪的科学研究。1662年，国王查尔斯二世（Charles II）将皇家特许证授予伦敦皇家学会（Royal Society of London），因其发展了自然知识，该学会聚集了一批自然哲学家，他们推崇科学的实验方法；他们都是《新工具》的门徒，都信奉培根的方法。诗人亚伯拉罕·考利（Abraham Cowley）是一位狂热的业余科学家，他为皇家学会题献书信；信中满是对弗朗西斯·培根的赞扬，培根用“真正的理性”推翻了古代权威：

> 权威，一个体系如此自吹，
>
> 尽管它不过是厚重的气，偷偷接近，
>
> 就像古代巨人的更巨大的鬼魂，
>
> 来恐吓那些博学的人。
>
> 博学的人拥有真理之光的魔法，
>
> 他可将（鬼魂）驱逐出我们的视线，
>
> 受罪的活人不会被（鬼魂的阴影）领入歧途，
>
> 鬼魂的阴影只是徒劳无功。




FRANCISCI
DE VERULAMIO,
Summi Angliæ
CANCELLARII,
Instauratio
magna.
Multi pertransibunt & augebitur scientia.
Sim: Pass: sculp:
Anno
LONDINI
Apud Joannem Billium
Typographum
Regium.
1620.

图8.1 培根的《新工具》封面

实验方法最终使得人们可以直接观察自然，而不是与逻辑较劲：

从言语，这思想的图景，

尽管我们的思想来自言语并执拗地

影响事物，内心的客观，它带给人的……

生命的那一部分，

一定不能是抄袭了他人的……

不，他眼前一定要有的

自然的活生生的面庞；

真正的客观必定要指挥

他眼睛中的每个判断，他双手的每个行为。注

这几行诗有意模仿了卢克莱修对伊壁鸠鲁的赞赏。正如伊壁鸠鲁用他的原子论打破了迷信的束缚，培根用他的实验方法打破了亚里士多德的束缚。

“培根的杰出，”麦克维伊·内皮尔（Macvey Napier）在1818年的经典演讲中说，“在于他第一个清晰充分地指出，在具体问题中，正确论证所需要（遵循的）规则和保证。”最终，（我们得到了）一种方法，这一方法使得自然哲学家可以“用两眼来看”（正如哥白尼所要求的那样），并且在观察的基础上得出结论。注

阅读《新工具》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

弗朗西斯·培根

《新工具》

（1620年）

第一卷以希波克拉底《格言集》开始，用简短的陈述说明了培根对当时自然科学所使用的方法的反对；第二卷则阐述了他的另一种想法。

19世纪的译本出自詹姆斯·斯佩丁（James Spedding）和罗伯特·埃利斯（Robert Ellis）之手，至今仍是被重印最多的版本。该译本有许多版本的免费电子书，比如：

*The Philosophical Works of Francis Bacon*, trans.and ed.James Spedding and Robert Ellis, vol.4, Longman (e-book, 1861, no ISBN).

《弗朗西斯·培根的哲学著作》，翻译、主编詹姆斯·斯佩丁和罗伯特·埃利斯，第四卷，朗文出版公司（电子书，1861年，无ISBN）。

较新的译本还包含了导言、大纲和注解，即：

*Francis Bacon, The New Organon*, ed.Lisa Jardine and Michael Silverthorn, Cambridge University Press (paperback and e-book, 2000, ISBN 978- 0521564830).

弗朗西斯·培根，《新工具论》，主编丽萨·雅迪娜和迈克尔·西尔弗索恩，剑桥大学出版社（平装，电子书，2000年，ISBN 978-0521564830）。

注释非常有用，但是这一译本虽然出自现代人之手，表述却并不总是更为清晰。例如，书的第一卷中，斯佩丁和埃利斯对希波克拉底《格言集》第十二卷的翻译是：

> 现在使用的逻辑与其说是在帮助我们追求真理，还不如说是在巩固错误，那些源于人们的常识的错误。所以，它弊大于利。

比较一下雅迪娜和西尔弗索恩的翻译：

> 当前的逻辑法有利于建立和巩固错误（那些错误以常识为基础），而不利于追求真理；所以它根本就没用，并且是绝对有害的。

1. .Tycho Brahe, quoted in Joshua Gilder and Anne-Lee Gilder, *Heavenly Intrigue: Johannes Kepler, Tycho Brahe, and the Murder behind One of History's Greatest Scientific Discoveries* (Random House, 2004), 81.

2. .Catherine Drinker Bowen, *Francis Bacon: The Temper of a Man* (Little, Brown, 1963), 100–102.

3. .Brian Vickers, ed., *Francis Bacon: The Major Works* (Oxford University Press, 2002), xviii.

4. .Francis Bacon, *The Philosophical Works of Francis Bacon in Five Volumes*, ed.James Spedding (Longman, 1861), 4: 65.

5. .Ibid., 81.

6. .Jennifer Mensch, *Kant's Organicism: Epigenesis and the Development of Critical Philosophy* (University of Chicago Press, 2013), 147.

7. .Bowen, *Francis Bacon*, 187.

8. .Abraham Cowley and Thomas Sprat, *The Works of Mr.Abraham Cow-ley: Consisting of Those Which Were Formerly Printed, and Those Which He Design'd for the Press, Now Published Out of the Authors Original Copies* (London: Printed by J.M.for Henry Herringman, 1668), 39–40.

9. .Macvey Napier, *Lord Bacon and Sir Walter Raleigh* (Macmillan, 1853), 18.

# 09
# 论证

## 在观察和实验基础上的对古代最伟大的权威的批驳

因此，这将会给我们带来收获……经常进行活体解剖，通过肉眼可见的证据来识别并寻求真理。

——威廉·哈维（William Harvey），

《心血运动论》（*De motu cordis*，1628年）

因丑闻而身败名裂之前，弗朗西斯·培根正处于政治事业的顶峰；那时，威廉·哈维在伦敦进行了首次公开解剖实验。

哈维时年37岁，个子不高，充满活力，讲话如机关枪一般，掺杂着英语和拉丁语。他解释着面前尸体的结构，用他手中由皇家外科医学院提供的“细白杆”指点出内脏器官。他被任为伦姆雷讲座解剖学的讲师（Lumleian Lecturer in Anatomy），他要每周上两次人体课程，每到冬天（此时尸体腐化减慢）就要在课上添加解剖死囚尸体的环节。注

人们以为他会在盖仑（Galen）的经典解剖学文献的基础上进行实验。盖仑是2世纪的内科医生，他曾接受过传统的希波克拉底医学教育，后来又有了数年动物解剖的经验。盖仑认为，要理解人体，就必须了解其构造；他撰写的不计其数的文献以及解剖学研究报告经12世纪的翻译家译介给欧洲的医生们，并成为当代所有医学知识的根基。

但是盖仑，这个讲希腊语的罗马公民，受罗马和希腊文化的双重影响，视解剖人体为禁忌。古希腊的传统观点认为，灵魂要进入极乐世界，正统的埋葬必不可少。这一观点后来被罗马人的迷信思想——没有下葬的死者的灵魂会痛苦地在地球上游荡——取代；即使是那些不相信灵魂和来世（存在）的唯理论者，也都认为人死后应该被体面地下葬，而不是被肢解。除了亚历山大那一小拨暴戾的解剖学家［公元前3世纪的希罗菲卢斯（Herophilus）和埃拉西斯特拉图斯（Erasistratus）］，希腊和罗马的医生研究的都是狗、猫、牛，有时也会研究猿，然后根据他们的发现推知神秘未知的人体。注

随着盖仑传统的复兴，一种用真实人体解剖来验证他的发现的想法也日益强烈；那时，信奉基督教的西方人总体上已经不像古代人对尸体那样迷信了。大约自1315年，人体解剖似乎再度被引进大学课堂，但这个过程非常缓慢。1482年，罗马教皇西克斯图斯四世（Pope Sixtus IV）宣称，只要解剖后的遗体仍然按照基督教的方式下葬，就没有任何神学上的理由让人们去规避人体解剖。从那以后，人体解剖就得到了认可。注

在哈维生活的那个时代，最有可能以人体作为解剖的对象是意大利各大学的医学培训班；据说，博洛尼亚（Bologna）的一位教授卡尔皮（Jacopo Berengario da Carpi）已经解剖过“数百具”人体了。他的人体图解手册是最早的解剖学文献，其中包含了心脏、阑尾和子宫结构的精确绘图。帕多瓦大学（University of Padua）教授安德烈·维萨里（Andreas Vesalius）对盖仑的权威提出了最严峻的挑战：《论人体构造》（*De humani corporis fabrica*）是一部恢宏的解剖学手册，书中附有大量的、精细的图片，这些图片都是依照真实的解剖绘制的。维萨里认为，一切医学理论知识和实践都必须以准确的解剖学知识为基础，解剖学家们也必须亲自观察；他们绝不可简单地依靠旧权威的教义，但是大学里的训练常常这么做。“因为现在都在学校里教了，”他

解释道，“时间都浪费在了可笑的问题上，基本没人会建议说……让屠夫在肉店里教可能会更好。”[注]

《论人体构造》出版于1543年，它在帕多瓦形成了一种动手解剖的强烈风气；威廉·哈维决定到帕多瓦研修医学学位。在那里，他学习维萨里传统，维萨里告诫学生要努力学习“亲自进行人体解剖和实验，以了解人体构造，然后仔细地与盖仑的教义做比较”[注]。这种仔细观察——哥白尼在受挫时曾建议“睁大双眼看”——让维萨里在盖仑的结论中发现了大量明显的、可被证明的错误。

但是，《论人体构造》出版半个世纪后，人们仍旧期待哈维的课程会以“医学之父”盖仑的理论为基础；这些文献得到的尊重堪与亚里士多德的《物理学》以及托勒密的《天文学大成》相提并论。



做伦姆雷讲座解剖学的讲师的第一年，哈维就公开反驳大师。

“通过使用止血结扎丝可以发现，”他的授课笔记上写道，“血液是从动脉流入静脉的。由此，血液始终在循环流动，引起血液流动的是心脏的跳动。”[注]

这跟盖仑所教的完全不同。

盖仑的观察大部分基于动物解剖；（他的解剖）表明心脏有两个心房，并且右心房的血液比左心房的血液颜色更深。但是解剖并不能准确揭示这些心房是如何**发挥作用**的。因此盖仑就提出理论说，每个心房泵出的血液不同。

他认为，右心房的颜色较深的血液实际上是肝脏造的血。食物经胃部消化成为一种奶状、营养丰富的液体**食糜**，食糜被送到肝脏并被

转化为“静脉血”，然后经静脉流出（盖仑解释说，一切皆**源于**肝脏），为身体的各器官提供养分。其中一些进入了右心房，然后用于给养肺部。

另一方面，动脉则运输另一种完全不同的血液。元气——*pneuma*，“生命精气”——通过肺部进入人体然后到了左心房，在那里与静脉血液结合成为“动脉血”——一种更稀薄的、颜色更淡的、流速比静脉血要快的血液。然后这些生命精气在动脉中，随着动脉血液抵达各器官。食糜和生命精气，静脉血和动脉血——机体器官的运作离不开任何一种。

但是这两种血液的流动都不需要泵力。

他认为器官有一种吸力，需要食物时，器官就会将静脉血吸入内部。动脉血的流动靠的是动脉自身的搏动。心脏的功能仅仅是吸入空气和静脉血，并把它们转化为动脉血。

因此，心脏的搏动（希腊人和任何人一样，都可以听到心跳）就被解释为一种**结果**，而非原因。吸一口气，元气就涌入你的肺部，然后流入左心房；在那里与静脉血汇合，将静脉血加热到沸腾。血液受热就会膨胀，心脏就要扩张承受这些血液（“舒张”运动，源于希腊文*diastole*，“扩张”）。随后血液冷却并经由动脉涌出；心脏放松然后收缩，恢复原来的大小（“收缩”运动，源于希腊文*systellein*，“收缩”）。

这一构想有个问题：静脉血必须要以某种方式从右心房流回左心房，这样才能在左心房与元气结合。但似乎左右心房之间没有任何连通。

所以盖仑开始否认自己的观察结果，强行要用（以一种亚里士多德学派的方式）他的那套理论支配现实。他认为，在左右心房之间一

定是有孔的，只不过它们太小了，所以肉眼难以看到；通过这些小孔，静脉血慢慢由右心房渗入左心房。(注)

这正是弗朗西斯·培根所反对的那种演绎推理思维。

哈维对盖仑理论有诸多质疑：第一，盖仑找不到任何观察得来的证据来证明这些小孔的存在。第二，就哈维所知，两个心房的结构基本上是完全一致的，它们的功能又怎么会如此不同？第三，动脉血和静脉血除了颜色以外，其他的性质几乎完全相同；因此，一个含有消化后的食物、另一个含有气的说法似乎也不太可信。第四，将血液从左心房导出的动脉和将血液从右心房导出的静脉的容积似乎都是一样的——但是据盖仑所言，动脉能将动脉血输送到全身，而静脉却只将静脉血输送到肺部。为什么肺部需要这么多血液？(注)

哈维需要建立一套新的、以他的系统观察为基础的理论，他采用归纳方法——既要研究心脏及其功能，又要通过实验来检验他和盖仑的理论。他用了整整十年半的时间来完善这一理论。他测量了心脏每次搏动所泵出的血液量，意识到盖仑理论中的血液量超过了心脏实际所能承载的血液量。他解剖了动物的心脏，发现心脏的收缩就像进行中的乐章那样活跃——而不是盖仑理论中所说的是放松的。他又煞费苦心地解剖了静脉和动脉，寻找帮助血液流向一个方向的阀门——血液并不是盖仑模型中所说的那种来回流动。他还对动物进行活体解剖，观察跳动着的心脏。今天我们可能会反对这一行为，但是这在当时的医学研究中是合法的。晚年时他告诉一位来访者："至今为止，如果不去研究某个器官的结构、周遭环境、被导管连通的方式及其在不同动物体内的属性，不仔细地权衡思考他所看到的一切，如果做不到这些，没有人能确定这个器官的作用和功能。"(注)

这一番话都是培根式的，这是新的实验方法的实践——尽管弗朗西斯·培根和威廉·哈维二人都会对这个看法不屑一顾。但哈维并没有批

判亚里士多德，他反而将亚里士多德奉为权威。主要原因是亚里士多德曾认为心脏是人体最重要的器官（而盖仑则把这一殊荣给了肝脏）。事实上，培根担任大陆官期间染上了痛风，恰是哈维为他治疗的。那个时候，哈维还没有对培根产生好感；他说培根是以政客的笔法来写哲学的（这是一种侮辱），他还写信给一位朋友说，大陆官的眼睛"像蛇的眼睛一样"(注)。

而培根对这位医生的评价也不高。《论学术的进展》中有一整节专门指出了医学界的弊病。培根认为，医生这一群体马马虎虎，不可能严谨地发现因果，他们热衷于迷信或者非理性的治疗方法，对药物的成分毫不关心，对病人的疼痛毫无怜悯之心。

但是哈维还是一直在进行培根式的实验，这为他的新理论赢得了越来越多的支持。他将自己的发现用拉丁文写成了《心血运动论》，该书于1628年出版；1653年，英译本也出版了。

《心血运动论》中，哈维提出血液是从右心房泵到肺部，然后从肺部到达了左心房，然后再从左心房出发经动脉流经全身，然后血液又通过静脉回到了心脏，完成了一个完整的循环。这一系统的每个部分都可被证明，除了一个部分——血液由动脉流到静脉的通道。

具有讽刺意味的是，哈维不得不在这里使用他所鄙夷的盖仑的那种推理方法。他认为在静脉和动脉之间一定存在一种细小的、像线一样的连接部分，只不过它太细小了，所以人眼看不到。

这一结果的确是真的；1661年，哈维去世四年后，意大利医师马塞洛·马尔比基（Marcello Malpighi）借助新显微镜技术，最终发现了毛细血管。但即使是在缺乏这一证据的时候，心脏跳动以及血液循环的理论也与解剖所观察到的证据完全吻合。

在生命快要结束的时候，哈维一直在证明他的系统的正确性，一直在做实验以确保他对盖仑的批判是公正的。70岁的时候，他仍在收集证据。1651年3月，他写信给一位朋友说他“最近尝试（进行）了”一个新的实验；实验中，他把一个“被绞死的人的”右心房结扎了，并强行往里面注水。结果显而易见：“没有一滴水或血液流到了”左心房。盖仑的小孔是不存在的。(注)

“乐意的话，你可以经常做做这个实验，”哈维以此结束了对这个实验的描述，“你会发现，结果和我所说的是一样的。”一种全新的、关于人体的理论在可重复进行的实验证据基础上建立起来了，盖仑等人的旧权威被废黜了。

阅读《心血运动论》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

威廉·哈维

《心血运动论》

（1628年）

1653年英译本的原版以及哈维的作品《血液循环论》（*De circulatione sanguinis*）已经由多佛出版社再版为平装本。该书使用的语言略偏古雅，但可读性仍旧很强。

William Harvey, *The Anatomical Exercise*, ed.Geoffrey Keynes, Dover Publications (paperback, 1995, ISBN 978-0486688275).

威廉·哈维，《血液循环论》，主编杰弗里·凯因斯，多佛出版社（平装，1995年，ISBN 978-0486688275）。

19世纪罗伯特·威尔（Robert Willis）的译本被广泛阅读，读者可以找到该译本的电子书，即《对动物心脏和血液的运动的解剖学研究》（“An Anatomical Disquisition on the Motion of the Heart and Blood in Animals”）。

Robert Willis, trans., *The Works of William Harvey, M.D.*, Sydenham Society (e-book, 1847, no ISBN).

罗伯特·威尔译，《医学博士威廉·哈维作品集》，Sydenham Society（电子书，1847年，无ISBN）。

普罗米修斯图书重印了该书平装本。

William Harvey, *On the Motion of the Heart and Blood in Animals*, trans.Robert Willis, Prometheus Books (paperback, 1993, ISBN 978-0879758547).

威廉·哈维，《论动物的心脏和血液的运动》，译者罗伯特·威尔，普罗米修斯图书（平装，1993年，ISBN 978-0879758547）。

1. .D’Arcy Power, *Masters of Medicine: William Harvey* (T.Fisher Unwin, 1897), 49, 58.

2. .Effie Bendann, *Death Customs: An Analytical Study of Burial Rites* (Routledge, 2010), 48–49; James Longrigg, *Greek Rational Medicine: Philosophy and Medicine from Alcmaeon to the Alexandrians* (Routledge, 1993), 184–85.

3. .Roy Porter, *The Cambridge Illustrated History of Medicine* (Cambridge University Press, 1988), 75, 157;

Lawrence I.Conrad et al., *The Western Medical Tradition: 800 B.C.–1800 A.D.* (Cambridge University Press, 1995), 147.

4. .Charles Singer and C.Rabin, *A Prelude to Modern Science* (Cambridge University Press, 1946), xxxiii; Conrad et al., *Western Medical Tradition*, 275–77; Charles Donald O’Malley, *Andreas Vesalius of Brussels, 1514–1564* (University of California Press, 1964), 117.

5. .Andreas Vesalius, *On the Fabric of the Human Body.Book VI, The Heart and Associated Organs.Book VII, The Brain: A Translation of De humani corporis fabicra libri septem*, trans.William Frank Richardson and John Burd Carman (Norman, 2009), 83.

6. .Power, *Masters of Medicine*, 55–56.

7. .Robert C.Olby et al., eds., *Companion to the History of Modern Science* (Routledge, 1990), 569–70; Lois N.Magner, *A History of the Life Sciences*, 3rd ed.(Marcel Dekker, 2002), 83.

8. .Magner, *History of the Life Sciences*, 91; Power, *Masters of Medicine*, 149.

9. .John G.Simmons, *Doctors and Discoveries: Lives That Created Today’s Medicine* (Houghton Mifflin, 2002), 48.

10. .Catherine Drinker Bowen, *Francis Bacon: The Temper of a Man* (Little, Brown, 1963), 14.

11. .Power, *Masters of Medicine*, 231.

# 10
# 亚里士多德之死

## 对古代权威的颠覆，对观察法和证据的支持

> 我们这个时代的确发生了许多新的事件，有了新的观察结果，如果亚里士多德仍然活着，我相信他也会因此而改变自己的观点的。
>
> ——伽利略·伽利雷（Galileo Galilei），
>
> 《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》（*Dialogue concerning the Two Chief World Systems*，1632年）

当21岁的威廉·哈维来到帕多瓦并就读于医学学校时，伽利略·伽利雷已经是那里的数学教授了。

伽利略比哈维大14岁，是位广受欢迎的老师；他的课必须要在学校最大的礼堂中进行，因为只有这个拥有2000个座席的礼堂才能容纳来自大陆各地的专程来听他讲课的学生。但是我们没有发现哈维的听课记录。“数学”是一个涵盖面很广的术语，人们期望伽利略的课程可以涵盖算术、几何学、天文学、物理学、军事防御学以及工程学。而这些学科与哈维的课程目标并没有交集。当时同现在一样，医学教育是一门高度专业化且闭塞的学科。[注]

在比萨大学（University of Pisa）度过了三年不愉快的时光后，伽利略来到了帕多瓦。他对亚里士多德学派物理学的批判越来越强烈，由于观点相左，比萨的传统主义者并不欢迎他。一位大学赞助人发明

了一种河道疏浚机，伽利略直言讥讽其“毫无用处”（还实际演示了该模型多么糟糕），窘迫的设计者于是加入了伽利略的敌营。注

因此，1592年，当帕多瓦的那所大学向他伸出橄榄枝时，伽利略便立刻接受了。但他在比萨的时间并没有虚度。其间他撰写了一系列关于力和运动的文章，虽然没有发表，却广为传阅；其中，《论运动》（*De motu*）向解决哥白尼体系中最棘手问题迈出了第一步。

而此时，伽利略并没有特别关注天体，他所关注的是靠近地表的事物。晚年，他写道，当他看到大块小块的雹子同时砸向地面时，他便开始怀疑亚里士多德学派物理学了。据亚里士多德的理论，大物体比小物体坠落得更快，因此上述情况的发生只能是因为大雹子的坠落点更高。（落体之所以这样是因为它们寻求自己的“自然位置”——对于由重物质组成的物体而言，“自然位置”就是宇宙的中心。大块物体因为含有更密集的重物质，因而比小块物质坠落得更快。）注

伽利略不相信所有的大雹子都是从更高的天空上坠落下来的。从《论运动》的文章中也可看出，还在比萨时，他就进行了一系列的实验和演示，结论明显与亚里士多德的运动物理学相抵触。

大约70年后，意大利数学家、伽利略的学生、助理温琴佐·维维亚尼（Vincenzo Viviani）撰写了第一部伽利略传记。该书坚称，伽利略推翻了亚里士多德：他反复地进行实验，将重量不等的重物“从比萨斜塔的顶端”抛下，发现它们一定会同时落地。但维维亚尼的传记在时间和地点上错误百出，因此，人们对他天花乱坠的表述也极为怀疑。但是，斯蒂尔曼·德雷克（Stillman Drake）在对伽利略思想的经典研究中指出，伽利略当众演示，极有可能是为了能让比萨的学生们亲眼见到可以证明他的研究的证据。伽利略坚信真理一定是可以被证明的。“真理……并不像许多人认为的那样被深深地掩藏起来，”伽利略在《论运

动》第9章中写道，“自然将（它）清清楚楚地公之于众，没有比这个再显而易见的了。”[注]

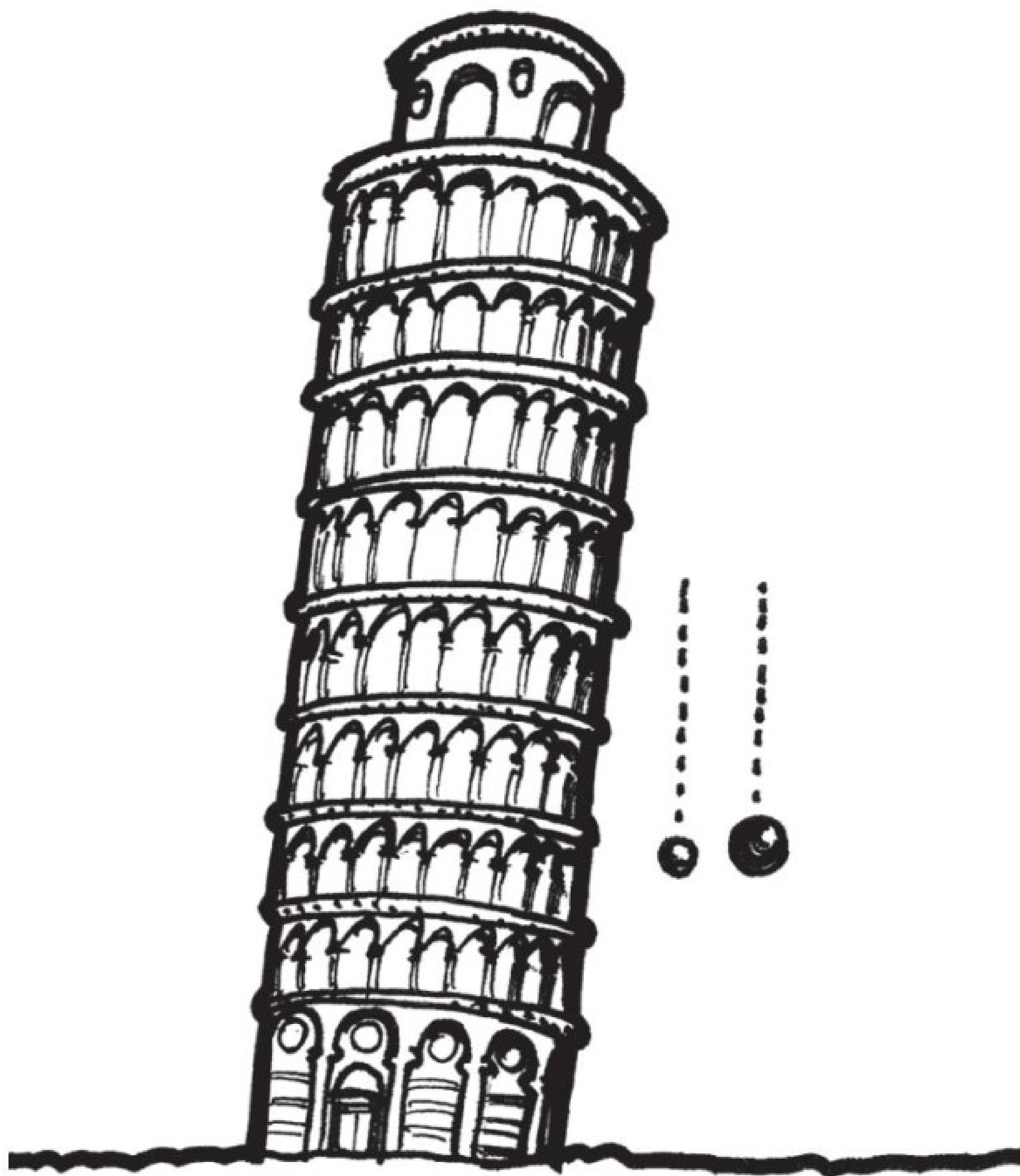


图10.1 伽利略的自由落体实验

但是，在伽利略生活的那个时代，培根主义方法——通过反复实验来验证真理——仍旧不及权威和传统的地位。40年后，伽利略用尖锐的笔触写道：一位威尼斯哲学家观摩了一次公开解剖实验，实验者是一位有名的解剖学家，他要推翻亚里士多德的观点——所有神经都源于心脏：

> 解剖学家证明，粗大的神经干从大脑出发，经过颈部，延伸至脊柱，然后分支到全身，其中只有如线一般纤细的一支到达了心脏。为了（说服）哲学家，解剖学家极为细致地进行展示和论证。解剖学家转向（哲学家），问解剖结果是否令他满意，他是否相信神经是源于大脑的……哲学家考虑了一会儿，回答道："你把结果如此清楚地摆在我眼前，如果不是因为亚里士多德的著作观点与你的结果相抵触，如果不是因为他曾明确表示神经是源于心脏的，我一定会承认你的实验结果是正确的。"[注]

亲眼所见也不能相信。

伽利略并没有公开出版《论运动》，很有可能是因为他仍有一些关键问题没有得到满意的答案。但是他仍在继续"观察"。来到帕多瓦大约15年后，他学会使用一种新的工具，这个工具延展了他的视力；在荷兰从业的眼镜商汉斯·利伯希（Hans Lippershey）将用来矫正远视眼的凸透镜和矫正近视眼的凹透镜组装起来，创造出了一种新工具。1608年10月2日，利伯希向荷兰立法机关，即当局为"望远镜"申请专利保护。[注]

当局从利伯希那里买走了一台望远镜，但是拒绝了他的申请。不到一年的时间，欧洲各处都在组装望远镜了。1609年，伽利略来到威尼斯，这是他第一次见到望远镜。一回到家，他便立刻开始工作，他打磨自己的镜片，试图提高望远镜的折射力。

利伯希的望远镜只不过比肉眼观察清晰一点点而已；伽利略试图增加望远镜的放大倍数到大约20倍。从第一次见到望远镜之后，只用了一年的时间，伽利略便发表了一篇基于观测的天体研究论文。“恒星（星际）使者为我们展示了一幅伟大壮丽的图景。”他在扉页如是写道，“我们仰视月球的表面，无数固定的恒星、银河以及模糊的恒星，但尤其是仰视与木星距离不等的四颗卫星，它们环绕木星以不同的周期疾速运转。”[注]

图10.2 伽利略与木星（现代人重新绘制的伽利略借助望远镜观测勾画出的木星图）

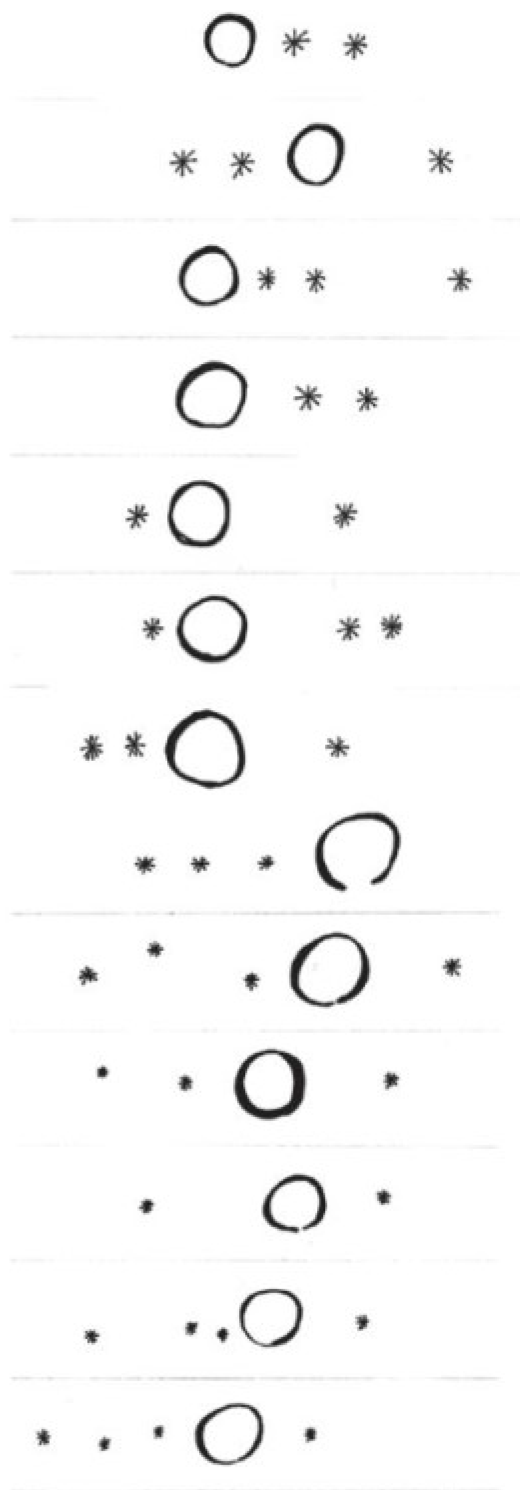


图10.2 伽利略与木星（现代人重新绘制的伽利略借助望远镜观测勾画出的木星图）

借助望远镜，伽利略看到了月球上的山和谷，看到了许多肉眼不能看到的恒星，看到了星云——由众多恒星聚合而成的云状天体。伽利略说，但是绕木星旋转的四颗卫星“是最重要的……”此前没有人发现它们；起初，伽利略以为他们是一些最新发现的固定不动的恒星，但是第二天，当他再次观察时，他发现它们**移动**了。

它们不断运动，时而现身，时而隐匿，一会儿出现在木星左边，一会儿又出现在木星右边。观测了一个星期后，伽利略大致勾画出了它们的运行轨迹，并得出了一个必然的结论：“它们围绕木星做圆周运动……且轨道不是正圆的。”伽利略的观测明确地证实了并不是所有天体都围绕地球旋转。《星际使者》（*The Sidereal Messenger*）出版数月之后，伽利略借助望远镜观测了金星不断变化的相——这用托勒密地心说体系是解释不通的，唯一说得通的解释便是，事实上，金星是环绕太阳旋转的。注

亚里士多德学派物理学，在已经经受了伽利略自由落体实验的打击之后，又挨了一记。老的理论尽管已经衰亡，却仍有忠诚的信徒。帕多瓦最德高望重的哲学家恺撒·克里蒙尼尼（Cesar Cremonini）属于亚里士多德学派，他拒不肯通过伽利略的望远镜进行观测。“你怎么看待这里最著名的哲学家？”伽利略在写给天文学家约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler）的信中尖锐地写道，“足有一千次，我主动向他展示自己的研究，但他像一条吃饱了的蟒蛇，固执、懒散，根本不肯看看那些行星，以及卫星……对于这种人……真理并不是在宇宙或自然中找到的，而是（我这里引用他们的原话）通过与权威文献进行比对找到的！”注

一场艰苦卓绝的战役开始了：决战双方是古代权威与现实观察，是亚里士多德学派思想与培根主义的方法，是权威文献和亲眼所见。伽利略本人并没有正面驳斥亚里士多德学派的逻辑或哲学，但他绝不会将亚里士多德学派的物理学视作理所当然。后来，在《关于托勒密

和哥白尼两大世界体系的对话》（*Dialogue concerning the Two Chief World Systems*）一书中，他让传统派角色辛普利修斯说出了反对者的意见。“如果要推翻亚里士多德，我们又该以谁作为引路人？”辛普利修斯问道。“当我们身处森林或陌生之地时，我们才需要引路人。”伽利略的发言人萨尔维亚蒂（Salviati）回答道，“在平坦开阔的地方，只有盲人才需要引路人。”哲学也许仍旧是一片未知的、树丛密布之地，但伽利略认为，物理学和天文学已经是平坦之地，任何拥有智慧和视力的人都能看到真相；地球已经被“从黑暗中举起，并暴露在青天白日之中”，他辩驳道。亚里士多德本人也会认同新发现——也会愿意对自己的物理学做出相应的调整。[注]

但亚里士多德的信徒们对此不以为然。其中不仅仅有哲学家和学者（他们除了提出异议之外别无所能），还有负责宗教裁判的神职人员，他们的确是大权在握。

到17世纪初期，核心位于罗马的教会神学已经完全亚里士多德学派化了。托马斯·阿奎那（Thomas Aquinas）于13世纪将基督教的启示与亚里士多德学派的形而上学相结合，这一伟大的举动影响了罗马基督教。这一结合的核心要素是进行了一个严格的区分，即区分了通过理性和感觉发现的事物（比如关于自然界的真理）与那些只能通过神的启示才能理解的现实（比如说上帝的本质）。这一区分看似可以与伽利略的观点极好地切合，实际上却包含了一个致命的矛盾：《圣经》作为上帝的神谕因此应该属于第二种真理——一种**无法**通过感觉或思考来理解的真理。《圣经》必须被接受，而不是被分析——这一点与亚里士多德的作品极为相似。[注]

伽利略的发现是双重反叛：不仅与亚里士多德相抵触，也与《圣经》几个篇章的字面意义相龃龉。多亏了望远镜，星球的运动不再被随意解释为“拯救现象”的数学伎俩。

1615年，罗马教皇保罗五世（Pope Paul V）任命主教罗伯特·贝拉明（Robert Bellarmine）对伽利略的研究及其蕴含的意义展开一次正式的调查。尽管《星际使者》中，伽利略的观察就表明了他接受了日心说，但伽利略本人并未撰写任何文章去明确地为这一观点进行辩护。因此，在调查了一年后，贝拉明提出，不应把伽利略的研究，而应该把哥白尼的《天体运行论》列为异端的、应受谴责的文本［《禁书目录》（*Index Librorum Prohibitorum*）］。但他在一次私人的正式会面中警告伽利略，不要再公开支持哥白尼了。

卡莫雷特（Carmelite）僧人保罗·安东尼奥·福斯卡里尼（Paolo Antonio Foscarini）曾为哥白尼体系辩驳，认为其与《圣经》毫无冲突，为此，贝拉明致信给他，建议他把日心说模型只作数学研究之用。贝拉明写道：

> 在我看来，（你）和伽利略先生要谨慎行事，你们只要控制自己的语气，要推测性的，不要过于绝对就可以了……因为，单单只是猜测地球运动而太阳不动是没有危险的，这一猜测的确比偏心圆和本轮的假设更贴合实际……但是，想要证明太阳位于宇宙中心……并且地球……绕着太阳快速旋转却是另一回事；这非常危险，不仅仅会激怒所有哲学家和神学家，还会因为指出了《圣经》的错误而伤害了人们神圣的信仰。[注]

“推测性的”言论既可以保护《圣经》，又可以保护亚里士多德：一举两得。

贝拉明并没有明说通过望远镜观测到的证据可以被忽视。他的数学不够好，因而理解不了伽利略的结论。在他看来，日心说是没有根据的（而且，公正地说，伽利略也并未解决地球为何看起来明显恒居不动的问题）。事实上，如果有证据的话，贝拉明还是希望能重新考察的：

> 如果真的有实验能证明太阳位于宇宙中心……且太阳并不是绕着地球运动，而是地球绕着太阳运动，那么，当人们试图解释与这一结果明显抵触的《圣经》时就要非常小心了，他们最好要说，我们无法理解《圣经》，而不要说，经证明《圣经》是错的。但是，如非亲眼所见，我是不会相信会存在这样的实验的。(注)

在伽利略听来，这一宣言无疑是一个挑战。1616年，伽利略开始传阅自己的手稿《论潮汐》（“On the Tides”），此文章认为，只有承认地球一边绕自身轨道自转，一边绕日旋转，才能对海水的运动进行合理解释。他一贯的支持者约翰尼斯·开普勒——当时担任神圣罗马帝国皇帝的御用数学家——此时正在研究行星的新轨道，这些新轨道极大地提高了哥白尼模型的准确性。

接下来的16年，伽利略一一解决了日心说模型遗留的问题。他可以合理地解释为何地球看上去明显是恒居不动的，借助一个类比：将物体从船的桅杆上扔下，即使船在移动，物体每次也总能坠落在桅杆底部。

他不断研究潮汐问题以及金星的相。最终，于1632年，他将所有的结论汇编成为一部主要作品：《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》。

此时，贝拉明已经辞世约12年了。但考虑到宗教裁判所仍旧存在并活跃着，《对话》一书就被设定为一个假设性的讨论——在三位朋友之间的一场争论，争论的主题是地心说或地球运动模型在理论上是否可以称为对宇宙最精准的描述。哥白尼模型的捍卫者是思维缜密而机智聪慧的萨尔维亚蒂和萨格莱多（Sagredo）；而宗教裁判所的所有意见则由那个最冷漠、最无知、最无能的辛普利修斯来传达，他愚忠于亚里士多德，愿意为其而拒绝理性。

伽利略的这一计谋让《对话》成功通过了来自多明我会神学家尼科罗·里卡尔蒂（Niccolo Riccardi）的第一次审查，但是里卡尔蒂要求在书的前言部分必须明确地表态：教会反对日心说是完全合理的。此外，他还要求在书的结尾部分加上一个免责声明，以提醒读者，要理解潮汐现象并非一定要借助于地球转动。伽利略很快便写了一篇极具讽刺意味的前言。（“几年前，为了根本消除我们目前面临的危险，罗马曾颁布了一条有益的法令，强制推行适时的禁言政策……关于地球运动的观点不要再出现。”）伽利略还通过辛普利修斯之口道出了最终的断言，即上帝“拥有无限的力量和智慧”，也许就是上帝导致了潮汐，“尽管这凭我们凡人的智力来看是难以置信的”。㊟

里卡尔蒂似乎对这篇前言很满意，看样子他并不怎么读书，1632年2月，在佛罗伦萨就印刷了1000本《对话》。这些书很快就卖光了。第二年早春的时候，一位比里卡尔蒂耳尖的牧师听出了讽刺之意，他指责伽利略公然违背了贝拉明当初的警告。

伽利略反驳说，《对话》明显是假设性的，他既不支持也没有捍卫日心说——只不过就此展开讨论罢了（而这得到了贝拉明明确的允许）。但当时宗教裁判所的负责人，红衣主教文生·马古拉诺（Vincenzo Maculano），对此不以为然。1633年春天，伽利略被迫来到罗马为自己辩护。听了伽利略的辩解，马古拉诺却始终不为所动，4月28日，马古拉诺威胁这位老人说，若他仍不肯坦白自己违背了贝拉明的戒律，他就要遭受“更严苛的程序”。

**更严苛的程序：**这是酷刑的代称，于是伽利略——时年已经七旬有余，且有病在身——不得不屈服了。6月22日，伽利略跪倒在一群牧师面前，他顺从了，说道：“我放弃自己的谬见，即认为太阳位于宇宙中心且固定不动。”伽利略认罪后，便被马古拉诺判以软禁，马古拉诺命令他三年内每周都要背诵一次《圣经》中的七首悔罪诗，并永远将《对话》列为禁书。㊟

软禁期间，伽利略又开始研究运动；1638年，对非亚里士多德学派物理学的探索——《两种新科学的对话》（*Two New Sciences*）一书在莱顿（Leiden）出版。因为在莱顿，出版不需要经过教会的审查批准。1642年，伽利略辞世，但此时对他的裁判仍旧有效，《对话》仍旧被列在《禁书目录》。

但是在宗教裁判所势力范围之外的地方，《对话》一直在为人传阅：整个欧洲都在重印它，阅读它，并于1661年被翻译成了英文。伽利略去世后不到25年的时间，地心说模型就终结了，亚里士多德学派物理学几乎被一种新的思想完全取代。

阅读《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

伽利略·伽利雷

《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》

（1632年）

该书最好的、可读性最强的英文译本由斯蒂尔曼·德雷克（Stillman Drake）执笔。该译本最初于1953年出版。另外，读者可以买到现代科学丛书系列的译本，该译本经过了严谨的修订和评注。

Galileo Galilei, *Dialogue concerning the Two Chief World Systems, Ptolemaic and Copernican*, trans.and with revised notes by Stillman Drake, Modern Library (paperback, 2001, ISBN 978-0375757662).

伽利略·伽利雷，《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，斯蒂尔曼·德雷克翻译并修订注释，现代图书馆（平装，2001年，ISBN 978-0375757662）。

1. 关于亚里士多德哲学与基督教神学之间关系的更为细致的分析超出了本书的讨论范围。威廉·C.普兰契尔（William C.Placher）在《基督教神学史概论》（*A History of Christian Theology: An Introduction*，约翰·诺克斯出版社，1983年）一书的第十章“脆弱的合成”（“The Fragile Synthesis”）中给出了可资借鉴的结论。
2. .Giorgio de Santillana, *The Crime of Galileo* (University of Chicago Press, 1955), 3.
3. .John Joseph Fahie, *Galileo: His Life and Work* (J.Murray, 1903), 27.
4. .Stillman Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography* (Dover, 1978), 2, 473.
5. .Ibid., 21–22.
6. .Galileo Galilei, *Dialogue concerning the Two Chief World Systems, Ptolemaic and Copernican*, trans.Stillman Drake, ed.Stephen Jay Gould (Modern Library, 2001), 125.
7. .David Leverington, *Babylon to Voyager and Beyond: A History of Planetary Astronomy* (Cambridge University Press, 2003), 70.
8. .William Cecil Dampier and Margaret Dampier, eds., *Cambridge Readings in the Literature of Science; Being Extracts from the Writings of Men of Science to Illustrate the Development of Scientific Thought* (Cambridge University Press, 1928), 15.
9. .Maurice A.Finocchiaro, *Defending Copernicus and Galileo: Critical Reasoning in the Two Affairs* (Springer, 2010), xv; Dampier and Dampier, *Cambridge Readings*, 26–27, 30; Leverington, *Babylon to Voyager*, 83.
10. .David Deming, *Science and Technology in World History* (McFarland, 2010), 3: 165.
11. .Galilei, *Dialogue*, 130–31.
12. .Galileo Galilei and Maurice A.Finocchiaro, *The Essential Galileo* (Hackett, 2008), 146.
13. .Ibid., 147.
14. .Galilei, *Dialogue*, xvi, 5, 538.
15. .Deming, *Science and Technology*, 177–78.

# 11
# 仪器和工具

## 通过扭曲自然和延伸感官来改进实验方法

在这种情况下，知道你决心坚持实验而非诡辩，我十分高兴。

——罗伯特·波义耳（Robert Boyle），

《怀疑派化学家》（*The Sceptical Chymist*，1661年）

关于感官，接下来需要关注的是通过工具弥补感官的不足，也就是要在自然人身上加上人造的器官。

——罗伯特·胡克（Robert Hooke），

《显微图谱》（*Micrographia*，1665年）

1641年，也就是伽利略去世前一年，爱尔兰少年罗伯特·波义耳在他的私人教师的陪同下，开始了他的“伟大旅程”——穿越欧洲之旅，这是富家子弟们中学毕业的重要仪式。（波义耳毕业于伊顿公学。）到那年秋天，两人就已经抵达了意大利北部，并决定在佛罗伦萨过冬。波义耳的早期传记作家托马斯·伯奇（Thomas Birch）告诉我们，在那里，他

大多数时间都在跟家庭教师（他的意大利语说得非常好）学习意大利方言，于是很快掌握了地道的意大利语，也掌握了足够的知识，使他既能读懂用意大利文写的书，也了解了意大利的风土人情……他利用余下的空闲时间读用意大利文写的近代历史以及伟大

> 的天文学家伽利略的新的悖论。伽利略的天才之作……遭到了一条罗马法令的驳斥。(注)

即便是被驳斥，伽利略的书明显仍旧广为传阅，罗伯特·波义耳发现它们非常有说服力。“关于地球运动的假设，”他后来写道，“远比亚里士多德（他明显被人误解了）的教条更切合实际现象。”(注)

这个时候，伽利略从30年前开始的望远镜观测已经被再度进行，并得到了确认和详细阐述。望远镜的功能也越来越强大；天文学家约翰尼斯·开普勒曾给出了这条理论：与伽利略的凸透镜和凹透镜组合相比，两片凸透镜的成像更为清晰，视野也更广阔。1614年，德国物理学家克里斯托·夏纳（Christoph Scheiner）造出了开普勒望远镜，证明了这一理论。（不过改善后的成像是上下颠倒的。）同样的技术也在向着相反的方向开展；伽利略制作了一台复合显微镜，并命名为“*occhialino*”（“小眼镜”），伽利略曾用它端详“无数的小动物，带着极大的热忱”。［“跳蚤真是太可怕了。”1624年他在写给罗马博物学家费德里科·赛西（Federico Cesi）的信中写道。］(注)

七年后，罗伯特·波义耳旅行归来，在伦敦开始他的科学研究，他对新技术充满热情。“借助了不起的望远镜，我观测着先前和最近被发现的恒星和行星；”他写道，“借助奇妙的显微镜，我观察到了肉眼看不见的东西，大自然鬼斧神工般不可复制的微妙……（并且）借助……化学熔炉之光，我研读了大自然这本书。”(注)

**化学熔炉：**这是一个通用术语，指某些容器（瓷烧瓶、陶窑、水浴器和沙浴器、砖炉和石炉），这些容器用于加热自然物质，可人工设置温度，目的是发现它们的更多性质。望远镜、显微镜和熔炉与毕达哥拉斯、阿基米德和亚里士多德用以探究自然世界的工具有本质区别。古人测量自然界，并称重它，计算它，用他们的感官去理解物质世界。但是望远镜和熔炉则改变了感官与客体之间的基本关系。它

们**扭曲**了自然界——异常地放大，或熔化或溶解或蒸馏客体（按波义耳所说，“折磨”自然界的物质，“直至它们坦白自身的组成原理”）。注

这是培根实验的一部分。“仅凭双手或理解的作用非常有限，”培根曾在《新工具》中写道，“只有借助工具才能完成。”借助工具完成的实验是“精密的”，它们的过程是“elaboratories”（精细）的——这个词最早出现在17世纪。

精细要靠时间和金钱去打造，罗伯特·波义耳拥有优渥的家庭条件，使他独立、富裕，不受妨碍，因而他是使用新工具的理想人选。据他的朋友约翰·奥布里（John Aubrey）说，他有一个“先进的实验室，由几个仆人（他的学徒）管理……为了一探奥秘，他不惜一切代价”注。

尽管大多数人没有与波义耳所拥有的那样充足的资金支持，但也有其他年轻人也在用新工具做实验。在伦敦，波义耳结识了志趣相投的自然哲学家。“**不可见**世界的奠基石，或者（按他们自称）**哲学学院**，我确实常以与他们为伍而感到光荣，”1646年，他在给一位朋友的信中写道，“一群具有如此开阔之思想与探究之精神的人，学院哲学不过是他们知识的最基础的部分。”注

这个“无形学院”并不是后来阴谋理论家所说的一个神秘的团体，它是一个由业余哲学家组成的松散关系网，他们的圈子时常更迭，彼此重叠，分享自己的发现，讨论培根主义哲学的方法。年轻的波义耳最常加入的圈子是由摩拉维亚理论家约翰·阿莫斯·夸美纽斯（John Amos Comenius）主持的，夸美纽斯（很奇怪）既支持培根主义哲学，又坚决反对哥白尼，因为他一方面认为观察对科学而言不可或缺，另一方面又认为《圣经》中已经阐明宇宙的地心说了。注

到17世纪50年代早期，波义耳的科学实验技能似乎已超越了他在伦敦圈子中的其他人，他先搬回位于爱尔兰的家中，随后他又去了牛津，开始寻找其他志同道合的哲学家。在那里，他雇用了一个贫困潦倒的学生罗伯特·胡克（Robert Hooke）做实验助手。

两人一起——年近30岁的波义耳与刚刚20岁的胡克——设计出了诸多仪器，波义耳用它们去“折磨”自然界，揭示其秘密。到1658年，他们成功地制作出了气泵。1654年，德国物理学家奥托·冯·居里克（Otto von Guericke）第一次当众演示这一出了名的复杂仪器。居里克用气泵将一个由两个独立半球组成的中空铜球内的空气全部吸出，然后把两个半球分别与两支马队相连，每一支马队有8匹马，结果马队也不能把两个半球分开。居里克的目的是要推翻一条经典的亚里士多德学派理论——宇宙中不存在“空的空间”。亚里士多德曾说，宇宙的每个**角落**都有**某种东西**（这一立场后来被总结为“自然厌恶真空”）。居里克的实验关键在于除去铜球内的**一切事物**，哪怕是微小的、不可见的空气粒子也要除去，为了创造一个**不含一物**的空间——这是对亚里士多德学派物理学的又一个致命打击。注

波义耳进行气泵实验的目的略有不同。很明显，自然界并不厌恶真空；现在，他想知道的是，在没有空气的时候，诸多现象会发生什么变化。他和胡克把许多东西放在了一个室中，并抽出其中的空气：大理石、重物、羽毛、在响的闹铃（他们听不见）、火药（很难引燃）、蜡烛（熄灭了）、一只鸭子（晕倒了）和几条蛇（它们最终死了）。根据实验，波义耳于1660年出版了自己的第一本书《关于空气的重量及其效果的物理力学新实验》（*New Experiments Physico-Mechanical: Touching the Weight of the Air and Its Effects*）。书中他总结出了一条理论，空气粒子可以被理解为

> 一堆小物体，它们彼此叠加，就像一团羊毛一样。因为它……含有许多纤细而有弹性的毛发；每一个都真的像一个小弹簧一样，

可以轻易地弯曲或卷曲；但也像弹簧一样，努力去再次伸展开来。注

用拳头紧握羊毛，羊毛就会压缩成更紧实的一簇；同样，空气也可以在外部压力下被压缩进一个更小的空间。另外，一旦松开拳头，羊毛就会伸展开；同样，一旦压力没有了，空气也会“随即伸展开，恢复它之前的形态，一个更疏松和自由的状态”。波义耳将这一属性称为“空气的弹性”，并用公式来表示，也就是我们所说的“波义耳法则”：当气体被压缩为一个更小的体积时，压力就会增加。注

普遍认为，波义耳法则公式是现代物理学发展史上的里程碑，但实际上，罗伯特·波义耳对物理并不是特别感兴趣。他对组成自然世界的元素很感兴趣，因而也就对空气的成分感兴趣：“能给他带来最大快乐的，”约翰·奥布里评论道，“是化学。”

※

**化学：**17世纪时，这一领域中全是巫师和金属工匠。

在波义耳那个时代，还没有一个被称为“化学”的探索领域。自古以来，工匠们都在与贵重金属和染料打交道，这就要求他们掌握一些化学反应的实用知识。古埃及人和古希腊人知道熔化和过滤，结晶和蒸馏。他们知道如何利用锻铁炉和火炉来改变原材料的成分，他们还熟练地用硫黄、砷和汞改变金属的颜色；打个比方，砷会让铜变成白色，使铜“转化”（在观察者看来）成为完全不同的物质。注

这些技术被称为“*chemia*”（化学），这个词是希腊人从埃及词汇中借用的。在随后的几个世纪，阿拉伯工匠进一步发展了*chemia*（阿拉伯语中被称为*al-chemia*），他们在实践中推测所发生的转化的性质。9世纪时，至少有两位阿拉伯思想家［巴格达神秘主义者贾比尔·

伊本·哈扬（Jabir ibn Hayyan）和波斯物理学家阿布·伯克尔·穆罕默德·伊本·宰凯里雅·拉齐（Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya al-Razi）］认为，金属不是由传统的四元素构成的，而是由添加进去的汞和硫黄构成的［亚里士多德的作品《气象学》（*Meteorology*）中曾暗示了这一观点］。13世纪时，另一个亚里士多德学派的人，意大利冶金学家吉伯（Geber）认为物质实际上是由*corpuscles*（细胞）而非原子构成的。根据定义，原子是不可分割的；但是细胞可以被汞穿透，这就会使细胞的内部结构发生改变。如果物质是由细胞构成的，那么金属之间的转化——铜转化为银，或者是铅转化为金——都真的可能发生。注

这是一个重要的科学理论，但是，无价值的金属可能会变成金子，这让骗子们也开始**炼金**（*al-chemia*），他们熟练这一造假转化，并将假“金子”卖给易受骗的买家。16世纪时，德国医生帕拉塞尔苏斯（Paracelsus）为炼金术挽回了一些名声，他对以炼金术作为生产更好药物的手段非常感兴趣，认为所有的自然变化（生长和发展，发酵和消化）本质上都是炼金化学。帕拉塞尔苏斯认为，应该将亚里士多德的四元素替换为三要素（9世纪炼金术师所用的硫黄和汞，再加上盐），但是帕拉塞尔苏斯本人一方面是一个难以相处的极端利己主义者，另一方面他将视线局限在炼金术在医药方面的应用；因此，他的理论并没有在广阔的自然哲学世界取得什么进展。

波义耳相信炼金术——对物质组成的研究——可以为自然哲学做出很多贡献，就像物理学或天文学曾经做出的那样。通过实验，波义耳得知不管是亚里士多德学派理论的四元素，还是帕拉塞尔苏斯体系的三要素，都经不住反复的实验。根据亚里士多德，火总是将其他元素转化为火；波义耳问：自然为什么总是在他的化学熔炉中“错失她的目标”？

> 火焰把砖烧得通红，却不能把砖转化成火，坩埚也不能，烤皿[注]也不能，尽管火焰能吞噬金和银（也不能把它们转化为火）……即便是用火点燃木头，木头只有一部分转化为火焰，且不说产生的煤烟和烟尘，燃烧后的灰烬仍旧是静止的不可燃物。[注]

至于帕拉塞尔苏斯的三要素，波义耳怀疑硫黄是否真的是“原始的元素”，因为他早已生产出“含硫液体”作为试验用材，这是一种馏出液，通常，“化学家们”认为其中根本不含硫黄。[注]

1661年，波义耳出版了他的第二本主要作品《怀疑派的化学家》（*The Sceptical Chymist*）。作品的结构非常传统，是四个人物之间的对话：瑟米斯蒂厄斯（Themistius），亚里士多德派的信徒；菲洛波努斯（Philoponus），帕拉塞尔苏斯主义者；卡涅阿德斯（Carneades），波义耳的发言人；埃留提利乌斯（Eleutherius），一个对对话饶有兴趣的旁观者。埃留提利乌斯提出一些有价值的问题，瑟米斯蒂厄斯和菲洛波努斯则分别为四元素或三要素做辩论，卡涅阿德斯则驳倒二人的观点。

但是就卡涅阿德斯提供的论证而言，《怀疑派的化学家》一点都不传统。他的辩驳并不是（像亚里士多德和哥白尼那样）基于他已经得到了更好的、更合乎逻辑的答案。事实上，尽管卡涅阿德斯提供了关于物质的另一条理论（是吉伯“细胞”的一个版本，认为细胞是一种“普遍存在的物质”，它们聚集在一起，也可以被分开、改变和转变），但他也意识到他并没有证据。

但他重复做过大量缜密的实验，这些实验**推翻了**亚里士多德学派和帕拉塞尔苏斯派的观点。埃留提利乌斯，这个聪明的外行人，对此感到非常高兴。他赞许地对卡涅阿德斯说道：

> 我十分高兴，在这种情况下，你决心坚持实验方法而非诡辩。因为我，无疑还有你，早已注意到，经院哲学家面对生理学谜团时经常运用的诡辩术，往往只能显示出诡辩者思维敏捷，并不能增加知识或消除严谨的真理爱好者的疑问。注

诡辩——这样一个连贯、统一的体系中——是找不到真理的，只有在反复的实验中才能找到真理。

在《怀疑派的化学家》一书中，波义耳近150次提到了实验证据。此外，正如他在序言中所指出的，这些实验已在实验室中**进行过**——而不仅仅停留在思考问题的阶段。波义耳一直对许多同时代人的一个习惯感到愤怒，他们高谈阔论物质世界，并称自己是基于“化学实验，无疑他们从没做过；如果他们做过，他们就会……发现它们是错误的”。同时代的布莱斯·帕斯卡（Blaise Pascal）的《物理学论文》（*Physical Treatises*）一书使波义耳尤为愤怒，书中宣称其关于液体的理论是基于实验得出的，而实际上帕斯卡的“实验”不过只是“心理”实验。“实验需要的是黄铜圆柱形容器，或塞子，”波义耳不满地说，“这些器皿必须制作精确，即便是有误差，这个误差也（细微到）只能被数学家发现，而几乎不可能被工匠发现。”这还不够好。只有推理是无法得出真理的：“复杂且艰难的实验”是**不可或缺**的。这就是为什么在序言中，波义耳也提醒读者“不要鲁莽地相信化学实验……除非那些实验者说他们的实验是基于他们特有的知识”。注

并且，即使这样，实验也应该再做一次，然后再**重复**一次。“仔细实验，重复实验，在此基础上，你才能建立起重要的理论或实践的上层结构，”波义耳后来对读者说，“并且……要认识到只做一次实验是不可靠的。”条件或物质的变化会对实验结果造成极大的影响。只有那些可以被反复验证的结果才可以作为理论的基础。注

培根已为现代科学方法奠定了基础，但是波义耳对工具的运用才使现代科学的实验阶段真正形成。《怀疑派的化学家》的历史地位得以保障，不仅仅是因为其结论，更是因为其过程；不仅仅是因为最后所揭示的真理，更是因为获得真理的方法。



1662年，也就是《怀疑派的化学家》出版一年后，波义耳的实验室助手罗伯特·胡克得到了一个新工作：担任新成立的伦敦皇家学会的实验负责人。[注]

自17世纪40年代，正如波义耳早期提到的“无形学院”，自然哲学家的小团体在伦敦和牛津开展非正式的会议。“他们既没有规则，也没有固定的方法，”皇家学会的第一位历史学家托马斯·斯普瑞特说道，“（并且）他们的目的更多的是……彼此交流……各自的发现……而不是联起手来，不断地或经常地进行调查。”这一组织缺乏结构，倒是适合那个混乱不定的英伦三岛共和国年代：那时，英国政府被完全颠覆，此时波义耳最好还是安安静静地独自在他自己出资建设的实验室中做研究。[注]

但在1658年，共和国的主要推动者、护国公奥利弗·克伦威尔去世；查尔斯二世高奏凯歌，重返王位，传统的英国统治层又回来了。查尔斯二世重新加冕六个月之后，皇家学者克里斯托弗·雷恩（Christopher Wren）——建筑师、天文学家和物理学家——为刚成立的物理、数学和试验促进学会（College for the Promoting of Physico-Mathematical Experimental Learning）主持了其在伦敦的首次会议。到1662年，查尔斯二世授予该学会许可，并更名为“伦敦皇家学会”。[注]

得到了皇室的支持，皇家学会开始迅猛发展；学会中非科学家成员的人数很快超过了自然哲学家的人数。胡克被任命为实验负责人，这一举动似乎意在保证学会处于正确轨道上。他拿着全职的薪水，要

做两件事：在皇家学会每周集会的时候做许多实验，一边做实验，一边解释和演示；还要协助其他人进行他们各自的实验，如果他们需要的话。注

这一工作使得罗伯特·胡克（可能）成了历史上第一位拿全职薪水的科学家。皇家学会中有天文学家、地理学家、医师、哲学家、数学家、光学仪器制造者，甚至还有几位化学家，这就要求胡克的实验和研究要贯穿自然哲学的整个领域。这一职位学科涵盖面广，非常适合他。与波义耳在实验室中的工作对他来说是大材小用。他是一名杰出的数学家（而波义耳不是），善于打磨和使用透镜；他发明了晴雨表，（在一定程度上）是现代气象学研究的创建者；他是一位出色的地质学家和生物学家，也是建筑师和物理学家。

胡克在皇家学会的周会上进行的实验用到了他各个方面的能力。托马斯·伯奇（Thomas Birch）记录了一系列的实验，起初是展示液体如何达到流体静力平衡的实验，随后展示了巴黎人将牛皮浸入色拉油以制作防水牛皮的方法，最后展示了一种“葡萄牙洋葱”，所有人都饶有兴趣地仔细观察，因为“这样的东西”从来没人见过。注

以后的实验还涉及了钟摆、蒸馏过的尿液、放入加压的容器中的昆虫、透过带颜色的玻璃和普通的玻璃对物体进行观察、称水的重量。但是后来，胡克在实验中越来越多地使用显微镜。

约40年前，第一个借助显微镜完成的自然哲学研究公布于世，实验者是费德里科·赛西（Federico Cesi），他被称为“罗马的伽利略”。研究名为*Apiarium*，是对蜜蜂习性的彻底研究；赛西借助显微镜观测既证明了亚里士多德（“正如亚里士多德写的，因此［我们］看见并观察到它们……用那些茸毛带走了花粉”），但也不时地反驳他。其他利用显微镜做的研究是由赛西的同事进行的，透镜技术也一直在缓慢进步。注

胡克对显微镜尤其感兴趣。和他的导师波义耳一样，他认为自然哲学需要实验仪器。“通过加入这样的人造工具和方法，”他在1664年写道，“就可能以某种方式，弥补……感官的不足。”

> （自然）的某些部分太大而难以理解，还有一些太小很难把握。从那以后，由于我们对于客观物体没有一个完整的感知，我们对它们的理解也一定站不住脚，漏洞百出……因此，我们常常把客观物体的幻影当作实体，把微小的迹象当作极大的相似，且是定义上的相似。……在感官方面，（那）需要关注的，是用工具弥补感官的缺陷，也就是要在自然人身上加上人造器官……借助显微镜，再小的东西也逃不过我们的眼睛；因此，我们发现了可以促进理解的一个崭新的可见的世界。注

胡克一直在向其他人展示这个“崭新的可见的世界”，他们非常欣赏他的成绩。1663年4月，皇家学会的会议记录中写道：“胡克先生的任务是每次开会都要进行至少一次显微镜观察（实验）。”接下来的一次会议中，胡克“向同伴们展示”放大后的苔藓是什么样的。“他渴望继续下去。”会议记录写道。接下来几个月的课程中，胡克在显微镜下展示了以下物品的结构：软木塞、树皮、霉菌、水蛭、蜘蛛和戈达德博士（Dr.Goddard）带来的“一块未知的石化木头”。注

戈达德博士曾拜托胡克对这一奇怪的样本进行检验，并出具报告，胡克圆满地完成了任务。他认为，这块石化的木头从气孔和结构分析与活木相似，但像岩石一样坚硬，无法穿透。然后，胡克提供了解释：

> 原因……似乎是这样的：这块石化木头曾在某地被完全浸泡在石化水中（这是一种充满了石块和泥土的水），经过分层、过滤，也许还有沉淀、黏合或凝固，其中的石块源于渗入的水；石块……

自己进入……气孔……由于石化粒子的进入，它变得坚硬但易碎……木头上的小气孔完全被石块颗粒堵塞了。注

他借助实验器材进行观察并推翻现有理论，并在此基础上创造新事物：他建立了一个全新的自然进程，他从未亲眼见过（也不可能看到）这一进程，却可以**推理**出来。他首次描述了石化的过程，同时也反驳了人们已接受的真理——化石是非有机的，是由岩石形成的。

借助仪器进行观察后的下一步就是：利用近距离的观察结果，利用人工手段对感官的延伸，作为**新思路**产生的起点。这些仪器延伸的不仅仅是感官，还有**思维**。显微镜和放大镜，气泵机和真空室，它们真正的最终目标并不仅仅是观察，而是通过观察得出新理论，通过观察使人类的思维比以前延伸得更远。

1664年，皇家学会要求胡克将他的显微镜观察研究印刷成书。除了之前提到的能力，胡克还是一位娴熟的拟稿者和艺术家。他并不是仅仅用文字描述他的发现，也并不只是委托非科学家的人为他画插图，这些事他都亲力亲为。他的书的插图幅面巨大，极其细致，非常清晰。

最终的成书《显微图谱》（*Micrographia*）于1665年出版。前57幅插图与观察是借助显微镜进行的；最后3幅，即折射光、恒星和月球是借助望远镜进行的。插图的质量远远高于此前所有的（类似书籍），这本书立刻引起轰动。

尽管夺人眼球的图片吸引了读者绝大部分的注意力，更值得注意的是在整本书中，胡克都是通过延伸了的感官构建新理论。仔细检查了白云母（Moscovy-glass）的颜色和分层后，他在观察的基础上提出了一条关于光是如何作用的理论：他推测，光是一个“非常短暂的震动”，是“经由一个均匀的介质以直线传送的”。注

同他的石化理论一样，这一模型也无法被直接证明。胡克只是依照了他在《显微图谱》的序言中所提到的方法。仅仅通过仪器延伸感官是不够的；观察后，根据观察进行推理、解释，然后反复检验。类推威廉·哈维的血液循环系统，胡克解释说，真正的自然哲学

> 始于双手和双眼，辅之以记忆，思维使它持续下去；但也不能就此停止，而要再次从双手和双眼开始，这由一感官不间断地过渡到另一个，自然哲学才能保持它的生机与力量，正如人体要保持生机，只有让血液流经身体各个部分，胳膊、双脚、肺部、心脏和头部。一旦我们勤勤恳恳、一丝不苟地遵循这一方法，就没有什么事物（不在）人类智慧的掌控之内了……争论和说理很快就会劳人身体；一切美好的构想、普遍接受的形而上的自然，虽然都是人脑奇思妙想的产物，但很快就会消失，并让位于实实在在的历史、实验和研究工作。但是，由于最初人类偷尝智慧之树的禁果而堕落，因此我们——他们的后代——可能要走上老路，不仅仅要开始观察和思考，也要尝试自然界中的智慧之果，但这些不再是禁果了。(注)

仪器和工具不再仅仅是感官的延伸；对胡克而言，他们就是智慧之树，是通向完美的路径。

阅读《怀疑派的化学家》和《显微图谱》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

## 罗伯特·波义耳

## 《怀疑派的化学家》

## （1661年）

《怀疑派的化学家》一书不易阅读［按劳伦斯·普林西比（Lawrence Principe）的话说，该书“冗长，乏味，不连贯，时而自相矛盾”］。注然而，序言、正文前的辅文以及第一部分对波义耳的事业和他对实验的执着投入进行了精彩的概述。

Robert Boyle, *The Sceptical Chymist: The Classic 1661 Text*, Dover Publications (paperback and e-book, 2003, ISBN 978-0486428253).

罗伯特·波义耳，《怀疑派的化学家》（1661年经典文本），多佛出版社（平装，电子书，2003年，ISBN 978-0486428253）。

罗伯特·胡克

《显微图谱》

（1665年）

尽管目前有大量的《显微图谱》印刷本，但这些书几乎都没有以原尺寸或足够高的精确度来重绘胡克富有开创性的插图。要看插图，最好的办法是去查看八开本的CD，其中有对原书的清晰扫描，PDF格式，可随意放大，旋转，并可选择以彩色或黑白方式查看。

Robert Hooke, *Micrographia*, Octavo Digital Rare Books (CD-ROM, 1998, ISBN 1-891788-02-7).

罗伯特·胡克，《显微图谱》，八开本数字稀有书（CD-ROM，1998年，ISBN 1-891788-02-7）。

但是，整本文献（沿用了传统拼写法）很难用八开本扫描出来。大家可以考虑阅读免费电子书（如古登堡计划中的版本），或重印平

装本，以便读者可以读到胡克的相关文章——尤其是序言，序言中他解释了感官与思考力之间的关系。

Robert Hooke, *Micrographia*, Project Gutenberg (e-book, 2005).

罗伯特·胡克，《显微图谱》，古登堡计划（电子书，2005年）。

Robert Hooke, *Micrographia*, Cosimo Classics (paperback, 2007, ISBN 978-1602066632).

罗伯特·胡克，《显微图谱》，柯西莫经典丛书（平装，2007年，ISBN 978- 1602066632）。

1. 一种由骨灰做成的杯子，用于熔化金属。
2. 伦敦皇家学会的早期历史有些模糊且备受争议。有关其最早的记录，见托马斯·斯普瑞特（Thomas Sprat）的《伦敦皇家学会史》（*The History of the Royal Society of London*，1667年），但该书的准确性在近几年受到怀疑；迈克尔·亨特（Michael Hunter）的《建立新科学——早期皇家学会的探索》（*Establishing the New Science: The Experience of the Early Royal Society*，Boydell Press，1989年），书中对寻求证据的过程描写生动，可资借鉴。
3. 英伦三岛共和国（1649—1660）是一个短暂的时期，它彻底背离了英国君主制的传统。议会首领，其中包括清教徒奥利弗·克伦威尔（Oliver Cromwell），共同领导了一场叛乱；耸人听闻的是，国王查尔斯一世被逮捕、审判并被处决了。一个名义上的共和政府取代了查尔斯一世；不到四年的时间里，克伦威尔试图以“护国公”的名义实现个人对英国的统治。克伦威尔死后，这一政权也不光彩地结束了；随后，查尔斯一世被流放的儿子也就是其继承人被请回继承王位。
4. .Thomas Birch, “The Life of the Honourable Robert Boyle,” in Robert Boyle, *The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle in Six Volumes* (J.& F.Rivington, 1772), 1: xxiv.
5. .Robert Boyle, “A Free Inquiry into the Vulgar Notion of Nature,” in *The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle* (W.& J.Innys, 1725), 2: 115.
6. .Untitled column, *Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instruments* 6, no.6 (August 1922): 835–36; Matteo Valleriani, *Galileo Engineer* (Springer, 2010), 56–57.

7. .Marie Boas Hall, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge University Press, 1958), 20.

8. .Robert Boyle, *The Sceptical Chymist* (Dover, 2003), 15; Thomas L.Hankins and Robert J.Silverman, *Instruments and the Imagination* (Princeton University Press, 1995), 3.

9. .Trevor H.Levere, *Transforming Matter: A History of Chemistry from Alchemy to the Buckyball* (Johns Hopkins University Press, 2001), 14.

10. .Birch, “Life of the Honourable Robert Boyle,” xxxiv.

11. .Hall, *Robert Boyle*, 6; Charles Webster, ed., *The Intellectual Revolution of the Seventeenth Century* (Routledge, 2011), 236–37.

12. .Edward Grant, *A Source Book in Medieval Science* (Harvard University Press, 1974), 324, 326.

13. .Boyle, *Philosophical Works* (1772), 1: 11.

14. .Boyle, *Philosophical Works* (1725), 2: 510–32; Boyle, *Philosophical Works* (1772), 1: 11–12.

15. .James Riddick Partington, *A Short History of Chemistry*, 3rd ed.(Dover, 2011), 22–23.

16. .Partington, *Short History of Chemistry*, 29, 36; Levere, *Transforming Matter*, 7–8.

17. .Robert Boyle, *A Free Enquiry into the Vulgarly Received Notion of Nature*, ed.Edward B.Davis and Michael Hunter (Cambridge University Press, 1996), 114–15.

18. .Boyle, *Philosophical Works* (1725), 3: 391.

19. .Boyle, *Sceptical Chymist*, 17.

20. .Michael Hunter, ed., *Robert Boyle Reconsidered* (Cambridge University Press, 2003), 61; Boyle, *Sceptical Chymist*, 3.

21. .Hunter, *Robert Boyle Reconsidered*, 72.

22. .Robert D.Purrington, *The First Professional Scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London* (Birkhäuser, 2009), 34.

23. .Margaret ’Espinasse, *Robert Hooke* (University of California Press, 1962), 43–44.

24. .Thomas Birch, *The History of the Royal Society of London* (A.Millar, 1757), 3: 344–45.

25. .David Freedberg, *The Eye of the Lynx: Galileo, His Friends and the Beginnings of Natural History* (University of Chicago Press, 2002), 180.

26. .Robert Hooke, “Preface,” in *Micrographia* (James Allestry, 1664).

27. .Thomas Birch, *The History of the Royal Society of London* (A.Millar, 1756), 1: 215ff.

28. .Ibid., 262.

29. .Hooke, *Micrographia*, Observation 9.

30. .Ibid., Preface.

31. .Lawrence Principe, “In Retrospect: The Sceptical Chymist,” *Nature* 469 (January 6, 2011): 30.

# 12
# 推论之规则

## 将实验方法延伸适用于整个宇宙

物体的属性……若在我们可实验的范围之内存在于所有的实验客体中，那么我们就应该推定，这一特性存在于宇宙万物之中。

——艾萨克·牛顿（Isaac Newton），

《自然哲学的数学原理》（*Philosophiae naturalis principia mathematica*，1687、1713、1726年)

《显微图谱》出版五年之后，即1671年12月21日，罗伯特·胡克（那时仍是实验负责人）在皇家学会集会上，介绍了一种新的音乐记谱法，并且设计实验来测量水银穿透木头需要的力的大小。罗伯特·波义耳也在场，他介绍了一个实验，实验表明"水不能到的地方空气却可以到达"。此外，他还提议纳入一个新的成员："艾萨克·牛顿，剑桥大学的数学教授。"(注)

当时29岁的艾萨克·牛顿毕业于剑桥大学，此前四年，他一直在母校三一学院任教。他在1672年1月的会议上被适时推举，那次会议中"特别提到了牛顿先生对望远镜的改进"；牛顿此前将他改进后的一台仪器满怀敬意地送给了皇家学会。

与波义耳和胡克一样，牛顿是人造仪器的使用者，是一位为了寻求真理急切地希望能延展自己感官的数学家。在2月的会议上，他的入

会证书墨迹未干之时，他便向学会递交了一封信，信中他介绍了自己最新的“哲学发现”：

> 光并非彼此类似，光的种类繁多，包含了不同的光线。这些光线在穿透其他物质时，本质上会产生不同的折射；颜色就是从各种各样的光线中产生的，它们的性质决定了，其中一些倾向于产生红色，一些产生绿色，一些产生蓝色，一些产生紫色……而白色则是各种颜色的混合体，或者说白色是由各种颜色混合在一起而产生的。(注)

一直以来，牛顿的实验借助的并非显微镜或望远镜，而是棱镜：这种仪器通过扭曲（“折磨”）自然光来揭示光的组成。

信中，牛顿描述他在光方面的发现是“在迄今为止的关于自然的实验中，如果不是最重要的研究也是最与众不同的”。他这一番傲慢的宣告立即激起了一番同样激烈的反对之声。皇家学会对牛顿先生做出这一发现表达了“郑重的感谢”，并且委托胡克予以回应；胡克针锋相对地反驳说他认为牛顿的提议是“毫无必要”的。人们通常认为，光是白色的、单一的，而牛顿的发现与这背道而驰。让光穿过不同的物质（比如说透明的石层，在《显微图谱》中，胡克记录了一个此类实验），光只不过是被透明物质改变，因而变成不同的颜色。胡克勉强承认牛顿的新解释**也许**是真的，但他坚称，这一解释并不比已有的理论**更有可能**成为真理；他反驳道，牛顿并没有提供“理论的绝对证明”，因此他本人觉得无法信服。同年后期，胡克为皇家学会重新做了牛顿的实验，“证明了牛顿的判断”。但他仍继续辩驳道：“这些实验无法令人信服，无法证明光是由不同的物质组成的。”他可以想到至少两个“不同的假设”，同样可以很好地解释牛顿的结果。(注)

这是两人充满争论的关系的开始。这种敌对情绪之所以出现，一方面是因为，两个非常有能力且自负的人之间自然会产生摩擦，另一

方面，缘于二人持有不同的哲学观。胡克以及皇家学会的大多数重要成员都极其推崇实验的方法，但对于从中总结普适的结论时都非常谨慎。学会尽管对牛顿的“光的理论”很感兴趣，但还是提议，要想得出结论，需要做更多的实验才行。而这些实验足足做了三年，其间，牛顿在剑桥的实验室与位于伦敦的皇家学会总部之间书信往来频仍。

1675年，牛顿开始感到恼火。他将一份更缜密的手稿送到学会，稿件中对他的实验及实验揭示出来的光穿过“以太”的运动进行了更为详细的阐释。12月16日，胡克将此手稿呈现给皇家学会。“读了这篇论文后，”会议记录写道，“胡克先生说其主要内容在他的《显微图谱》中都涵盖了，牛顿先生不过是在个别细节上加以延伸罢了。”

牛顿当然要针锋相对，他反过来指责胡克有些过于随意地“借用”其他思想家的成果，比如勒内·笛卡儿［René Descartes，他早在40年前就出版了《方法论》（*Discourse on Method*）］和牛顿本人。两人的争论愈发激烈，而且弄得尽人皆知。信件来往越来越多，实验也越来越多。牛顿愈发沮丧——一部分是胡克造成的，但更多的是因为皇家学会不停地要他提供更多的证明。1676年，他尖刻地回复学会：“重要的并不是实验的数量，而是质量；如果一个实验就足以说明问题，为何还需要多次实验呢？”在他写给一位同僚的信中，他悲愤地写道：“我认为，一个人要么决心不研究新东西，要么就得成为捍卫新东西的奴隶。”[注]

牛顿逐渐不再参与皇家学会的例行活动。会议记录中越来越少见到他的名字。他没有去参与胡克负责的、学会成员要求的永无尽头的实验，而是投身于自己的研究：不仅仅研究光和光学，也研究行星的轨道以及可以对其做出解释的天体运行机制。与胡克争论了12年之后，他出版了第一部重要文献：*Philosophiae naturalis principia mathematica*，即《自然哲学的数学原理》。

《数学原理》一书从伽利略的日心说模型出发，主要关注的是行星环绕太阳运行的轨道。尽管伽利略的日心说体系因与事实相符而日益被人接受，但仍旧面临许多质疑。伽利略本人已经回答了一些主要的问题，但绝不可能解决得了所有问题。他认为，日心说理论是对潮汐运动的最好解释，并且，通过望远镜观测，他认为行星是有可能环绕着除地球外的其他天体运转的。他的重物实验，不论重物是否是从比萨斜塔落下的，都证明了地球能够在运转的同时保证地表物体不会到处乱飞。

但他并没有试着去解释使得重物下落的那股力［引力（*gravitas*），或“重力”］是**如何**作用的。实际上，尽管他推翻了亚里士多德学派物理学的一些核心观点，但他坚持一个与亚里士多德学派类似的观点，即**引力**是客观物体固有的属性，而不是外界施加在物体上的力。(注)

此外，伽利略也无法解释，如果行星是围绕太阳运转，那么为何对它们的圆形轨道的运算无法解释它们的实际运动。与他同时代的约翰尼斯·开普勒曾提出了**椭圆**轨道的定律，并据此得出更合理的结果——但二人都没能解释轨道**为何**是椭圆，而非正圆。伽利略构想的宇宙中，没有外力，而且这些物体本身的属性，都无法迫使行星的轨道由正圆变成椭圆。

这就是牛顿要解决的问题。

他将伽利略在地球上做的自由落体实验延伸到天体中，解决了这个问题。伽利略曾做出理论推定，认为物体的**引力**意味着它们可以持续做匀速运动，不论下落了多久；牛顿提出，引力不是物体的固有属性，而是一种力，太阳给行星施加引力，行星给环绕它们的卫星施加**引力**。将物体吸引到地球的**引力**同样也将月球引向地球——但是这股力的大小会随着距离的改变而改变。它是**会变的**。随着行星离太阳越

来越远，太阳施加给它们的力也越来越弱——因此，就有了椭圆轨道。[注]

要对这种新发现的力的原理进行全面解释——最重要的是解释两物体之间的距离与它们之间**引力**的关系——牛顿必须要改进自己的数学运算，使其可以计算出持续的细微变化。这一新数学方法就是“关于变化的数学法则”，在条件不断变化、力量不断改变且各种因素时隐时现的情况下，据此方法仍可以预测出结果。[注]

因此，《数学原理》一书同时展开了两项富有开拓性的工作：它解释了行星运行轨道**为何**是椭圆形的——并且，在这个过程中，首次揭示了宇宙中存在的另一种力：引力。此外，它还为数学引进了一个崭新的分支；这一充满活力的数学分支在17世纪时被称为“*calculus*”（微积分）：这一名称源于拉丁文“鹅卵石”，这是一种被用作算术计数器的小石头。[注]

《数学原理》第四卷阐述了引力作用的四条定律。书中牛顿建立并利用了三原则（牛顿运动定律）：

| 定律 | 公式 | 非数学的陈述 | 转述 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. 惯性定律 | $\sum F=0=\frac{dv}{dt}=0$ | 物体的速度保持恒定，除非不平衡的力作用于物体。 | 运动的物体保持运动，静止的物体保持静止——除非有外力作用其上。 |
| 2. 加速度定律 | $F=m\frac{dv}{dt}=ma$ | "对象的净力等于质量乘以其加速度，指向加速度的方向。" | 当一个力作用于一个有质量的物体，就会产生加速度。物体质量越大，产生加速度所需的力就越大。 |
| 3. 作用与反作用定律 | $F_A=-F_B$ | "如果一个物体对第二个物体施加力，第二个物体也对第一个物体施加相等的力。" | 对于任何一个动作，都会有大小相等、方向相反的反作用力。 |

资料来源：非数学的陈述均选自拉里·柯克帕特里克和格雷哥里·弗朗西斯所著的《物理学——一种世界观》(Physics: A World View，Thomson，2007)，37，41。

《数学原理》第一、第二卷建立了运动定律，既从理论上（不存在任何阻力的理想情况）又从存在阻力两种情况下进行探讨；第三卷则将引力视为宇宙中普遍存在的力进行探讨。

这三卷书的内容都非常艰深。单是"数学原理"这一书名就指出了最大难题：书中很大一部分是高深难懂的数学解释，是使用牛顿的微积分数学进行计算的。威廉·德汉（William Derham）是牛顿的老朋友、老同事，他后来写道，该书之所以晦涩艰深，是牛顿有意为之。牛顿曾向他透露，自他"讨厌争辩"开始，他"有意使得《数学原理》一书艰涩难懂"，为"避免被数学方面的浅薄小人所攻击"。也许因为"浅薄小人"这个词准确描述了当代绝大多数对此书有兴趣的读者，包括我自己，此书的绝大部分都在我们的《数学原理》理解范围之外。［这

绝不是现代教育的失败。詹姆斯·阿克斯特尔（James Axtell）曾指出，牛顿的策略“行之有效，使得《数学原理》一书艰涩难懂……甚至对他那个时代的专家和聪明的外行人也是如此”；一个为此感到沮丧的剑桥大学学生在街上和牛顿相遇时，曾说过一句金言：“前面走来的那个人，就是那个写的书不管是自己还是别人，谁都看不懂的那个人。”]
注

但是，牛顿在《数学原理》一书的两章中舍弃了密集冗长的公式，采用了清楚的表述，即在《数学原理》一书最后的“总批注”（就是“总体的解释性注释”），以及第三卷开头的“自然哲学研究的守则”。

“守则”在某种程度上，是牛顿对皇家学会的最后回击。他意识到，《数学原理》的结论很可能被缺乏想象力的那群人否定，被视为“巧妙的罗曼史”——仅仅是猜测，是虚幻的猜想。毕竟，他所进行的轨道观察，既没有在月球上进行，也没有在与太阳距离不等的其他行星上进行。相反，他采纳了在地球上获得的实验结果，并据此推知天体——这一方法是迂腐的皇家学会不赞成的。注

“守则”解释了为什么牛顿关于月球和行星运动的结论是可靠的，即使胡克并不赞同牛顿的实验证明方法。前三个原则是：

1.比起复杂的原因，简单的原因更可能是正确的。

2.同类现象（比如说，欧洲的石头从高处落下，与美国的石头也从高处落下）极有可能拥有同样的原因。

3.在我们可实验的范围之内，若某个特性存在于我们所有的实验客体中，那么我们就可以推定，这一特性存在于宇宙万物之中。

在《数学原理》第一版中，“守则”并非以这种形式展现出来，尽管牛顿的结论清楚表明了他是在这些守则指导下进行实验的。第二版出版于1713年，此时，他才将自己的假设写进书中。但直到1726年，《数学原理》第三版中，他才加入了第四条，也就是最后一条原则：

> 4.基于具体现象或实验结论的一般性理论应被认为是正确的，除非有新的现象或其他实验结果出现，使得另一条理论更像是真理。

这就是培根的归纳推理法——从具体结果推知普遍结论，但牛顿将其进行了惊人的延伸：延伸到适用于整个宇宙。

但“总批注”（其中也包含了关于上帝在自然哲学中位置的著名探讨）对这一方法进行了限制。牛顿解释说：

> 引力可以穿透太阳和行星，深达它们的核心，而自身的作用力却丝毫没有被削弱，这一作用并不与其作用的粒子表面数量成比例……而是与固体物质的量成比例，并且，这一作用还可延伸至周边极远的距离，总是与距离的平方成反比。[注]

但是，他提醒人们：“我至今尚未找到引力产生的原因。”他可以根据自己在地球上所做的实验，推导出引力法则，但是无从知晓引力产生的原因。

在牛顿看来，根据法则推断出起源，就是在没有证据的情况下总结出理论——这就是古代哲学家所推行的那种宏伟的范式虚构。他轻蔑地称其为“杜撰假设”。“我至今仍不能从现象中推断出这些引力属性产生的原因，”他断言，“我也不会去‘杜撰’假设。”他认为自己没有必

要提供一种可以解释**为何**宇宙以它现存的方式运行的普适性理论，即所谓“万物至理”。根据他的“实验哲学”，

> 从现象中推论出猜想，然后通过归纳，使猜想成为普遍的理论。物体的不可入性、运动以及惯性，运动定律和万有引力定律都是通过这种方法被发现的。只要引力存在和作用的方式与我们提出的定律相符，并且能够解释天体和海洋的一切运动就足够了。㊟

**就足够了**：对此，牛顿会感到心满意足。他把实验方法延展至整个宇宙，但也为其无限延展设定了一个边界。

阅读《数学原理》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

艾萨克·牛顿

《自然哲学的数学原理》一书中的

“自然哲学研究的守则”和“总批注”

（1687、1713、1726年）

想通读《数学原理》全书的读者有几种选择。由I.伯纳德·柯恩（I.Bernard Cohen）和安·惠特曼（Anne Whitman）合译的译本多达950页，是现代译本中最清晰易懂的，读者可以找到该译本的平装本；译本第一部分全部都是评论、解释以及关于如何阅读这本难懂的书的指引。

> Isaac Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy: A New Translation*, trans.I.Bernard Cohen and Anne

Whitman, assisted by Julia Budenz, University of California Press (paperback, 1999, ISBN 978-0520088177).

艾萨克·牛顿，《自然哲学的数学原理（新译）》，译者I.伯纳德·柯恩、安·惠特曼和朱莉娅·比登兹，加州大学出版社（平装，1999年，ISBN 978-0520088177）。

读者也可以找到安德鲁·莫特（Andrew Motte）1729年译的多个版本。尽管年代久远且某些地方不太准确，但是这些译本并不比柯恩和惠特曼的译本难懂多少。

Isaac Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trans.Andrew Motte, Daniel Adee, publisher (freee-book, 1846).

艾萨克·牛顿，《自然哲学的数学原理》，译者安德鲁·莫特和丹尼尔·埃迪（免费电子书，1846年）

Isaac Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trans.Andrew Motte, Snowball Publishing (e-book and paperback, 2010, ISBN 978-1607962403).

艾萨克·牛顿，《自然哲学的数学原理》，译者安德鲁·莫特，Snowball Publishing（电子书，平装，2010年，ISBN 978-1607962403）。

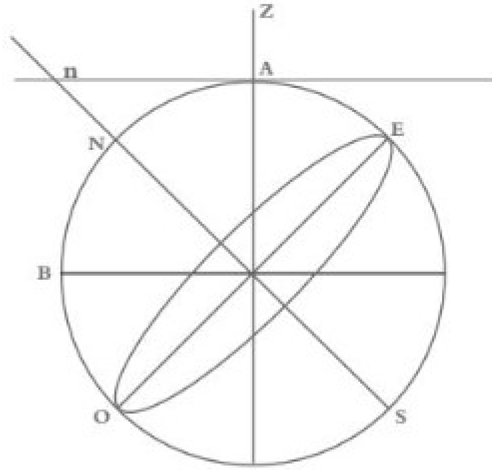
读者可以在诺顿评论系列丛书之牛顿作品集中找到《数学原理》选段（包括“守则”以及“总批注”部分），以及许多其他的牛顿的著作及其评论。

I.Bernard Cohen and Richard S.Westfall, eds., *Newton: Texts, Backgrounds, Commentaries*, W.W.Norton (paperback, 1995, ISBN 978-0393959024).

I.伯纳德·柯恩和理查德·S.威斯特法主编，《牛顿——原文、背景、评论》，诺顿出版社（平装，1995年，ISBN 978-0393959024）。


1. 艾萨克·牛顿与他的同代人戈特弗里德·莱布尼茨（Gottfried Leibniz）同时独立地开始研究这种崭新的“微积分”。随后，他们为了是谁建立了微积分的哪个方面、是谁抄袭了谁而争执不休；这一争论占据了关于牛顿的文献的很大篇幅，但与我们在这里的关注点并不相关。在本书第15章提到了尼可罗·圭契尔迪尼（Niccolò Guicciardini）的《艾萨克·牛顿的数学把握和数学方法》（*Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*，麻省理工学院出版社，2009年）一书，该书对争论进行了概述，大家可以参考借鉴。
2. .Thomas Birch, *The History of the Royal Society of London* (A.Millar, 1756), 2: 501.
3. .Thomas Birch, *The History of the Royal Society of London* (A.Millar, 1757), 3: 1, 10.
4. .Ibid., 5, 14, 50.
5. .Ibid., 269; Charles Hutton, George Shaw, and Richard Pearson, *The Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (C.& R.Baldwin, 1809), 2: 341; Adrian Johns, “Reading and Experiment in the Early Royal Society,” in *Reading, Society, and Politics in Early Modern England*, ed.Kevin Sharpe and Stephen Zwicker (Cambridge University Press, 2003), 260–61.
6. .Peter Machamer, ed., *The Cambridge Companion to Galileo* (Cambridge University Press, 1998), 153–54.
7. .I.Bernard Cohen, *Revolution in Science* (Harvard University Press, 1985), 163–70.
8. .Ron Larson and Bruce Edwards, *Calculus* (Cengage Learning, 2013), 42.
9. .James L.Axtell, “Locke, Newton and the Two Cultures,” in *John Locke: Problems and Perspectives*, ed.John W.Yolton (Cambridge University Press, 1969), 166–68.
10. .Barry Gower, *Scientific Method: A Historical and Philosophical Introduction* (Routledge, 1997), 69.
11. .Isaac Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trans.I.Bernard Cohen and Anne Whitman (University of California Press, 1999), 942.
12. .Ibid., 943.

# 第三部分
# 阅读地球




---

孔德·德·布封（Comte de Buffon），《自然史》（*Natural History: General and Particular*，1749—1788年）

詹姆斯·赫顿（James Hutton），《地球理论》（*Theory of the Earth*，1785年）

乔治·居维叶（Georges Cuvier），《初步探讨》（“Preliminary Discourse”，1812年）

查尔斯·赖尔（Charles Lyell），《地质学原理》（*Principles of Geology*，1830年）

亚瑟·霍姆兹（Arthur Holmes），《地球的年龄》（*The Age of the Earth*，1913年）

阿尔弗雷德·魏格纳（Alfred Wegener），《海陆的起源》（*The Origin of Continents and Oceans*，1915年）

沃尔特·阿尔瓦雷茨（Walter Alvarez），《雷克斯和末日火山口》（*T.rex and the Crater of Doom*，1997年）

---

# 13
# 地质学的起源

## 地球科学之创始

地球的历史应该先于地球上生物的历史。

——孔德·德·布封（Comte de Buffon），

《自然史》（*Natural History: General and Particular*，1749—1788年）

当物理学和天文学发展得如火如荼时，对地球的研究大多停留在地理学领域。

希腊人（此乃当然）创立了地理学。早在古巴比伦王国时期，人们就开始绘制地图；公元前4世纪时亚历山大大帝入侵希腊，为希腊地图绘制豁然开启了崭新的局面。百年后，亚历山大图书馆管理员厄拉多塞（Eratosthenes）撰写了第一部关于地球地形研究的学术报告，报告题为“地理学”（*Geographika*，迄今所知最早使用该词的记录），共有三卷，阐述了一种新的、覆盖整个地球的经纬系统。随后不久，希腊天文学家喜帕恰斯通过对月球的观测，设计出了坐标方格，也就是我们所知的纬度和经度，这进一步提高了希腊人创建的地图的准确性。(注)

地球科学从此开始。但是，古希腊的地理学只是简单地观察地球表面的现状，并没有对地球是如何演变至今，或地球为何如此运转做出解释。毕竟，根据亚里士多德学派的哲学，地球的历史无穷无尽，

其中时间循环往复，永无休止；但是，希腊人并没有从中意识到研究地球起源的可能性，更不可能意识到了解地球起源对于了解其现状的重要意义了。[注]

化学和物理学的发展使人们更深入地理解**地表上**所发生的客观进程。但是，只有当关于恒星的科学研究日益成熟之后，地球才成了研究对象。（地球是与众不同的，但当时只被视为众多天体的一个成员；它与其他行星拥有相同的属性，独特之处在于，它是人类的家园。）查尔斯·范·海斯（Charles Van Hise）认为，地质学是天文学的产物。[注]

直到17世纪上半叶，地质学还没有为成为一门新科学做好十足的准备。那时，地质学不过是自然哲学的一个分支，人们仍不知道地质学要研究的问题是什么。首先提出地质学方面问题的不是天文学家和物理学家，而是神学家和哲学家。

1647年，自然哲学家约翰·莱富（John Lightfoot）根据《旧约全书》中的族谱，计算出了地球的年龄。他宣称，地球是在公元前3928年9月被创造出来的。三年后，爱尔兰主教、业余天文学家詹姆斯·乌舍尔（James Ussher）将《圣经》中的族谱与他的天文观测结合起来，推算出地球产生的时间，这个时间要比约翰·莱富的推测更早一些。“最初，上帝创造了天地，”乌舍尔在《世界编年史》（*Annals of the World*）中写道，“根据我们的年表，时间开始于公元前4004年10月23日的晚上（午夜）降临时。”[注]

这根本就不是科学。尽管如此，与希腊人的传统观点——无限的循环往复——相比，基督教和希伯来人认为地球的生命开始于创始时期的传统观点仍旧是一个进步。承认地球真正拥有纵向的时间和历史意味着地球上的岩石和土壤、群山和山谷都带着过去的痕迹。

在乌舍尔确立了地球年龄的19年后，丹麦牧师圣尼古拉斯·斯丹诺（Nicholas Steno）的第一篇关于地球过去的文章发表了——这是探索地球科学的首次真正尝试。在被授予神职之前，斯丹诺分别在哥本哈根和阿姆斯特丹的大学中学习解剖学。

这篇文章《关于一个固体自然包裹于另一固体问题的初步探讨》（“Preliminary Discourse to a Dissertation on a Solid Body Naturally Contained within a Solid”）探讨了关于化石的疑问：化石是一些岩石组成物，多出现于远离海洋的山体中，形似生物。公元1世纪的罗马哲学家普林尼（Pliny）曾猜测，这些岩石是从天而降的。中世纪哲学家、医师阿维森纳（Avicenna）则认为，它们是由地球上一种“塑造力”神秘地塑造成的，这种塑造力将岩石塑造成了新的形状。罗伯特·胡克通过显微镜观察化石，发现化石是有机体残骸石化后的产物，但他尚无法解释为何化石都是在岩石中层被找到的。注

斯丹诺进一步发展了胡克的结论。1666年，斯丹诺仔细地解剖了一只奇怪的鲨鱼的头部。这只鲨鱼是在意大利海岸被捕捉到的，将它送给斯丹诺的是他的一位举足轻重的朋友，斐迪南二世·德·美第奇（Ferdinando II de’Medici）。鲨鱼的牙齿与斯丹诺及17世纪其他几位自然哲学家所熟知的小型齿状化石一致。这种小型化石被称为“蛇石”（glossopetrae），形似蛇的小叉形舌。在欧洲各地都发现了大量蛇石。《初步探讨》一文旨在：首先，证明形如鲨鱼牙齿的蛇石曾是活动物身体的一部分；其次，解释它们是如何被石头包裹起来的。

斯丹诺关于后者的解释因过分阐释、限定、赘余的细节和冗长的语言而费解。但可将其归纳为三个基本原则：

1.斯丹诺的叠覆原理。当小块岩石在水底沉积并被压缩，岩石层就开始形成。因此，底部的岩石层和遗迹比上层的沉积得更早。

2.斯丹诺的原始水平律。岩石层总是水平的。如果某一地层倾斜或垂直，那是因为被后来的因素挤成目前的状态的。

3.斯丹诺的原始侧向连续律。地层是连续的，没有终点的。所以，如果两个邻近的地层含有相同的矿物质、土壤和遗迹，即使二者现在是彼此分离的，但起初它们应该是同一地层，后因地壳活动而被割裂。

这三个定律都指向同一个深刻的、前所未有的观点：地球的岩层，即**地层**（由岩石和泥土彼此层层累积构成的“厚的覆盖层”），是沉积形成的，经年累月，每过一个时期就会沉积一层。在向下挖掘地层的过程中，自然哲学家就可以进行一次时光穿越。

此前并没有所谓的**地质学**，斯丹诺使得这一科学的出现成为可能。他已经找到了原材料，以此为对象，自然哲学家们可以实施他们的培根主义哲学的实验方法：原材料就是地层以及其中的化石，它们是观察、分析的**对象**，并从中得出理论。

同时，原材料令人们开始质疑神学家和哲学家的结论。

斯丹诺本人并不觉得将地球的产生时间确定为公元前4004年有什么问题。他确信化石就是生物沉积在水底的遗留物，但是，诸如贝壳和水生动物的螯（哪怕是石化的）这般脆弱的物体竟然可以存留数千年之久，这令人难以置信。在《初步探讨》一文中，斯丹诺清楚地表露出了自己的担忧：将地球的出现时间设定为公元前4004年可能有点儿太早了。㊟

但是，其他思想家对原材料有不同的看法。艾萨克·牛顿更关注地核，而非化石。他曾推测地球最初可能是一个熔化了的球体。这样的话，就可以通过铁冷却的时间来计算出地球的年龄（始终记住，大球

体与小球体的蓄热能力不同，这是因为快速冷却的表面与球体其余的质量之间的比例关系因球体大小而变化）。牛顿断定：

> 因此，一个与我们的地球等体积的红色、发热的铁球，也就是说，它的直径约有4000万英尺，几乎不可能与地球在相同的时间内冷却下来，它大概需要5万多年……正确的比例已经通过实验得出，我应为此感到高兴。注

换句话说，如果地球起初是熔化的，它就不可能只有6000岁了。但对牛顿而言，这不过是一个“虚构的”假说罢了，科学尚无途径去证明该假说。

德国数学家戈特弗里德·威廉·莱布尼茨（Gottfried Wilhelm Leibniz）是牛顿的同事，有时也是牛顿的对手。他提出了一个相似的假设——地球一度像金属一样被熔化，后来逐渐冷却并凝固。这一过程产生了许多巨大的泡泡；其中一些钙化后成为山体，其他的破裂分离形成了山谷。但莱布尼茨也对虚构的假设非常谨慎，他甚至拒绝提出自己对地球年龄的猜想。注

地球的年龄是多少，以及该如何理解地层以便了解地球的年龄，这两个问题本来可能因得不到解决而留待人们公开真诚地讨论。但是在1701年，温切斯特主教威廉·劳埃德（William Lloyd）将詹姆斯·乌舍尔所预测的公元前4004的时间点作为旁注印刷在了于1611年出版的、被官方认可的最新版本《圣经》中（这是最为广泛阅读、影响力最大的印刷本英文版《圣经》）。这为乌舍尔的猜想添加了一分神圣的权威感；从此以后，提出地球年龄在6000岁以上就有毁谤否定《圣经》之嫌。

50年后，才有学者敢于提出一个更长的时间。但这个提议是以假想的形式出现的，并且还是秘密的假想。

18世纪20年代，法国自然哲学家贝诺依·德·马雷（Benoît de Maillet）偷偷散播一篇对话性的故事，是印度哲学家特里梅德（Telliamed）和一位法国传教士之间关于地球年龄的对话。[注]依据几个世纪以来的测量，特里梅德认为地中海海平面一直在下降，整个地球曾一度被海洋覆盖，海洋在不停地渗入位于地球中心的漩涡。从水体的下沉速度来看，地球至少有20亿岁了。

但是这一猜想并不一定与《圣经》相抵触。“你太重视（地球的年龄这一问题）因而认为它与宗教有必然联系。”特里梅德对传教士说，“依我看，前者与后者的差异太悬殊了。”他解释说，对地球的研究不能带着信仰的眼镜去进行。对地球的研究必须要客观，正如天文学家研究其他任何现象那样：

> 让我们不要再以自己的标准去衡量世界历史的长度。让我们仔细地思考宇宙真正展现在我们眼前的这广阔的苍穹，我们可以看见诸多闪亮的、如同地球一般的恒星……让我们来想象一下，自望远镜被发明出来之后，最有可能发生的是什么，借助望远镜我们可以看得很远，如果我们真的处在离地球那样遥远的地方，我们也许会发现在我们头顶上有许多世界，它们离我们依旧那样遥远。[注]

只有当人们承认了地球只是众多天体中的一个，地质学才开始形成。只有当人们不再以人的年岁来衡量万物，地质学的时间框架才最终形成。



18世纪中叶，孔德·德·布封开始发展这一新科学。

布封原名乔治-路易斯·勒克莱尔（Georges-Louis Leclerc），是一位盐税官员的儿子。他的父亲继承了一大笔财产，并用这笔钱购买了

一个名叫布封的邻村，这使得他成了新贵族。年轻的乔治-路易斯对自己卑微的出身非常敏感，因此二十几岁时就抛弃了自己的姓氏勒克莱尔，自那以后，他只称自己是“布封”。[注]

富裕的家庭使他可以沉迷于自己广泛的兴趣中：数学、物理学、化学、显微镜学和生物学。他摆弄仪器，做调查，写文章，授课，出书。三十几岁的时候，他在多个领域都取得了惊人的成就，这引起了法国王室的注意。1739年，他被任命为皇家花园管理人，负责扩大并修缮花园和其中的动物园；此后，布封就一直在做这个工作。

花园管理人一职使得布封广泛的兴趣更加紧密地聚焦到了地球及其生物系统中。1740年，他宣布开始撰写一部恢宏的百科全书式著作，这就是共有55卷的《自然史》。亚里士多德曾撰写过《动物志》，而雄心勃勃的布封此举是对前者的极大扩充，他的书不仅要包括动物，也要包括植物。当布封开始动笔时，却发现这二者都不能作为开端。“地球的历史，”他在这本书开头写道，“应该先于地球上生物的历史。”[注]

因此，《自然史》第一卷探讨的就是地球本身：它的内部结构，它的“形成和存在方式”，以及它的历史。布封认为要运用科学的、归纳的、**培根式**的方法来思考这些问题。他反对仅凭过去发生的某一特别的事件就做出解释，这种事件既无法观察，也无法重复，这样的解释是“不稳定”并且“建立在摇摇欲坠的基础上的”。［这里，布封暗示一条家喻户晓的理论，由数学家威廉·惠斯顿（William Whiston）提出，即认为可以通过彗星尾巴与地球的原始碰撞来解释地球的现状。］[注]

相反，布封坚持认为地球科学必须**仅**采用客观存在的、可观察的过程：水的流动、发热物体的逐渐冷却以及土壤的侵蚀。

> 在这里，我所探讨的原因并不会超出我们的知识范围，我指的也不是自然灾变——哪怕只有一丝灾变，对地球也将是致命的打击。彗星的接近、月球的消失以及将一颗新的星球引进系统中，在这一些猜想的基础上，想象得以尽情翱翔。但这一类原因所产生的结果（不确定性太强）可以为我们随意支配。对自然做出一个假设，就可从中衍生出一千个传奇的故事，而杜撰这些故事的作者们往往会冠他们的故事以“地球理论”之美名……我非常反对这些愚蠢的推测：它们仅仅是一些推测而已，假如是真的，那一定会在宇宙中引起一场大灾难，我们的地球就像一个匆忙逃命的微粒，逃离我们的视线，不再值得我们去关注。为了保证我们观点的一致性，我们必须要承认地球的现状，细致地观察地球的每一部分，并通过归纳，根据其现状预测其未来。罕见的事件或迅疾而猛烈的变化不应被当作（地球产生的）原因，我们不应受到这样一些原因的影响。这些原因在自然界的进程中不占一席之地。但是那些一再重复的过程，那些接二连三、从不间断的变化才可以成为我们进行推理的基础。[注]

那么，是哪些“一再重复”的过程可能塑造了地球呢？布封同意牛顿的观点，认为地球起初是一个熔化了的球体，逐渐降温至今。

的确，单凭自己的双眼，他是看不到地球的这一小段历史的。但是，将地表与地下深处矿床的温度进行对比，清楚地显示出地核比地表更热，而**这**可以通过一个**能**反复重复的客观过程来解释：布封加热不同大小的球体直至它们发出白光，然后测量它们冷却的时间。然后，他根据结果推测一个地球尺寸大小的球体，断定地球的冷却应该开始于74832年前。但他认为，这一时间可能还要更长一些——也许有30亿年（这与我们现代所估计的45.7亿年有些接近了）。[注]

《自然史》的第一卷中，布封陈述了上述理论，与此同时，也否定了神灵干预地球历史的可能性，并驳斥了乌舍尔的地球年龄。这本

书堪称18世纪的畅销书。法国、英国、荷兰和德国所有受过良好教育的人的桌上都有一本《自然史》。但是法国科学院的一些重要人物一直在攻击布封的结论。位于巴黎的神学院质疑布封对《创世记》的理解，并就此与布封开始了漫长的书信争辩。注

读了这些信件后，布封只是更加坚信自己的假设了。30年后，他对已经出版的《自然史》进行了一系列的更正与补充，其中包括对地球形成各阶段更为详细的解释，他将其分为七个时期：

第一世 地球开始冷却

第二世 土壤凝固

第三世 水覆盖了地球

第四世 水开始退去以及火山活动开始

第五世 大象与“南方动物”在温暖的北方定居

第六世 大陆分离

第七世 人类出现

这“自然界纪期”是第一个地球“深时”（deep time）时间表——几个世纪后，约翰·麦克菲（John McPhee）创造了这一术语，用于描述在地质学研究中所使用的完全不同的时间尺度（100万年被当作一天）。

这一自然界纪期的时间表使得该书英文版的译者威廉·斯梅利（William Smellie）大吃一惊——太不符合英国人的标准——所以他在翻译时有意删节了第九卷的相关部分。“这一理论，也许在欧洲大陆上深得人心，但对于冷静谨慎的英国人而言有些过于离奇，因而很难获得他们的全面认可。”他在译者注中解释道，“译者得到的建议是不要把这本书译成英语。”注

但布封没有为此道歉。他坚称，绝不能用**罕见**的事件来进行解释（地球的起源）——这是地质学的第一原则——而这自然引出了第二原则：地球的历史恒久绵长。㊟

阅读《自然史》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

孔德·德·布封

《自然史》

（1749—1788年）

第一卷只有两个主要章节：第一章“地球的历史和理论”，阐述了布封所有关于地球形成的理论；第二章“地球理论之证据”，篇幅较长，分为19个“节”，对理论进行了详细的论证，给予了实验支持。第一章值得深读细读，第二章略读即可。

第九卷对第一卷各个部分进行了大量的补充。你只需要阅读标题为“孔德·德·布封的自然界纪期的事实与论证支持”（“Facts and Arguments in Support of the Count de Buffon’s Epochs of Nature: Of Giants, of the Glaciers, of the North-East Passage, concerning That Period When the Powers of Man Aided Those of Nature”）的一节。

威廉·斯梅利的译文只有英文版本，可读性很强，也非常有趣，但读者需注意关于自然时期的那一部分是译者的释义。该译本有许多免费的电子书版本，最容易找到的版本来自密歇根大学18世纪经典古籍在线资料库（http://susanwisebauer.com/story-of-science）。

Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon, *Natural History: General and Particular,* trans.William Smellie, vol.1 (e-book, 1780, no

ISBN).

乔治-路易斯·勒克莱尔，或孔德·德·布封，《自然史》，译者威廉·斯梅利，第一卷（电子书，1780年，无ISBN）。

Georges-LouisLeclerc, Comte de Buffon, *Natural History: General and Particular*, trans.William Smellie, vol.9 (e-book, 1785, no ISBN).

乔治-路易斯·勒克莱尔，或孔德·德·布封，《自然史》，译者威廉·斯梅利，第九卷（电子书，1785年，无ISBN）。

1. 教会里的权威人士也许注意到了“Telliamed”这个名字只不过是把“de Maillet”倒过来写，但没有任何记载表示教会对此采取了措施。
2. .James Oliver Thomson, *History of Ancient Geography* (Biblo & Tannen, 1965), 124ff, 342–43; Duane W.Roller, ed.and trans., *Eratosthenes' Geography* (Princeton University Press, 2010), 161, 263–64.
3. .Gian Battista Vai and W.G.E.Caldwell, eds., *The Origins of Geology in Italy* (Geological Society of America, 2006), 158; Gary D.Rosenberg, *The Revolution in Geology from the Renaissance to the Enlightenment* (Geological Society of America, 2010), 143–44.
4. .Charles R.Van Hise, “The Problems of Geology,” *Journal of Geology* 12, no.7 (1904): 589–91.
5. .G.Brent Dalrymple, *The Age of the Earth* (Stanford University Press, 1991), 21; James Ussher, *Annals of the World* (E.Tyler, 1658), 17.
6. .William H.Stiebing, *Ancient Astronauts, Cosmic Collisions and Other Popular Theories* (Prometheus Books, 1984), 5.
7. .Rosenberg, *Revolution in Geology*, 144–45.
8. .Isaac Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trans.Andrew Motte (Daniel Adee, 1848), 486.
9. .Dalrymple, *Age of the Earth*, 28–29.
10. .Benoît de Maillet, *Telliamed, or, The World Explain'd* (W.Pechin, 1797), 194–95; Dalrymple, *Age of the Earth*, 25–29.
11. .John R.Gribbin, *The Scientists: A History of Science Told through the Lives of Its Greatest Inventors* (Random House, 2003), 221–23.

12. .Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon, *Natural History, General and Particular*, 2nd ed., trans.William Smellie (W.Strahan and T.Cadell, 1785), 1: 1.

13. .William Whiston, *A New Theory of the Earth, from Its Original, to the Consummation of All Things*, 5th ed.(John Whiston, 1737), 373; David Spadafora, *The Idea of Progress in Eighteenth-Century Britain* (Yale University Press, 1990), 112–13.

14. .Buffon, *Natural History*, 1: 33–34.

15. .Dalrymple, *Age of the Earth*, 29–30.

16. .Jacques Roger, *Buffon: A Life in Natural History*, trans.Sarah Lucille Bonnefoi (Cornell University Press, 1997), 187–93.

17. .Buffon, *Natural History*, 1: 258.

18. .Henry Gee, *In Search of Deep Time: Beyond the Fossil Record to a New History of Life* (Cornell University Press, 2001), 2–4.

# 14
# 新科学的法则

## 关于地球的现状有两种不同的理论解释

地球大陆形成至今一定是经过了无限长的时间……我们没有发现开端的痕迹，也找不到结束的征兆。

——詹姆斯·赫顿（James Hutton），

《地球理论》（*Theory of the Earth*，1785年）

因此，地球上的生命总是遭受灾难。

——乔治·居维叶（Georges Cuvier），

《初步探讨》（“Preliminary Discourse”，1812年）

詹姆斯·赫顿是一位有钱的苏格兰地主的儿子，他生性三分钟热度——而这正是新科学所需要的。

1740年，14岁的赫顿进入爱丁堡大学学习希腊语和拉丁语。后来，他放弃人文科学，开始研究化学；辍学后又做了一位律师的学徒；21岁时放弃法律去爱丁堡学医；后来又偏离学医之路来到了巴黎专攻解剖学；最终获得了医学学位后，却又发现自己并不适合做医生。于是，在一位朋友的帮助下，他创建了一家制造工业化学品氯化氨的公司。公司经营得很好，但不久，赫顿又将公司委托给朋友管理，自己去经营家庭农场了。

他做农业实验，加入了爱丁堡哲学协会，并递交了植物学、矿物学和炮术方面的论文，进行化学实验，参观盐矿，去深山徒步旅行，考察地质形态，研究煤矿生产。“他不必从事某一职业，”他的朋友、传记作家约翰·普雷佛尔（John Playfair）写道，“他可以完全掌控自己的时间，他有充足的精力来不断地变换职业。”注

殷实的家境使他不必亲自赚钱谋生，加之广泛的兴趣，二者相结合便成了他进行地球研究的前提条件——这一学科在大学中尚未确立，没有定义，没有边界，没有为人普遍接受的名称。布封自称为一位“历史学家”，而其他地球的研究者则分别自称为天文学家、数学家、自然哲学家和绅士。赫顿的前半生在化学家、制造商和农民三个身份之间跳跃。直到50岁时，他才出版了第一本研究成果，这是一本小册子，题目颇有意思，叫作“关于自然、属性以及煤与碳质页岩注的区分的思考”（*Considerations on the Nature, Quality, and Distinctions of Coal and Culm*）。这本书卖得并不好，但这本书体现了赫顿的兴趣在慢慢聚焦（地质学）。（“非常巧妙，非常令人满意。”普雷佛尔肯定地说道，“但是，也许从目的角度考虑，这本书过于具有科学性了。”）他日益关注土壤成分的研究。注

赫顿的小册子出版后的那年，瑞士数学家吉恩·安德烈·德鲁克（Jean André Deluc）为关于地球的科学起了一个名字。

数年来，德鲁克与英国女王夏洛特（Queen Charlotte）保持通信联系。作为一位有志于影响社会的思想家，他当然会将这些信件收集出版。第一卷（有许多信）出版于1778年，题为“物质和精神的信件——关于山体以及地球和人类历史”（*Physical and Moral Letters on the Mountains and on the History of the Earth and Man*）。德鲁克是一个虔诚的新教徒，他致力于使自己关于岩石形成和地层的理论与《创世记》中所记载的一致（他极度反对布封的地球年龄说，认为地球的年龄大约是1万岁）。“这些信件，”德鲁克在开头写道，“只不过是一篇

宇宙学论文的大纲。”随后，他在脚注中表达了对该术语的不精确性的惋惜：“我这里所说的宇宙学，仅指关于地球的知识，而不是关于宇宙的知识。因此，‘地质学’也许才是正确的术语，但我不敢用它，因为它并没有得到广泛的使用。”注

尽管发表了这样的免责声明，德鲁克仍继续使用（地质学）这一术语。《信件》的读者越来越多，“地质学”这一名称也得以流传。但关于地球的研究界限依旧模糊，一方面与神学和《圣经》研究相交叉，与物理学和天文学相融合，另一方面又与冶金学和化学相交融；但最终，它也有了一个标签。

1783年，赫顿关于煤炭的那本小册子出版6年后，他终于将自己逐渐发展成形的地质学理论汇集成一部重要的作品出版。爱丁堡哲学协会那时刚刚与英国爱丁堡皇家学会合并，合并后致力于哲学和自然科学两方面的研究；为了对这个新机构予以支持，赫顿同意贡献一篇关于“陆地系统”的论文。“皇家协会，”普雷佛尔解释说，“做得很好，它使得赫顿博士勾勒出了首个地球理论的雏形，这一理论的研究成为他毕生的远大目标。”注

赫顿那时已经57岁了。他已经成为一名“优秀的矿物学家”，并且“亲眼核实了地质学的重要事实”；他“尤为擅长自然地理”和化学，广泛阅读自然历史的相关书籍。他将所有的才能都应用到探究地球及地球系统的性质中去，但他几乎从未将自己的观点与他人分享。注

1785年3月7日，他的一位朋友在皇家学会宣读了他的报告的第一部分，赫顿本人则以生病推托（也许他难以克服紧张）。“他论述的第一部分，”皇家学会会议记录中记载，“从持久度和稳定性两个角度，考察了这个适合人类居住的地球的系统。”一个月后，在学会4月份召开的会议上，赫顿本人首先重述了3月份的报告，随后宣读了余下的论文。

我们目前可以见到的所有地层，赫顿认为，曾经都是松散的物质，在海洋底部被冲刷；这些物质被加热后熔合在一起，并被推出海平面以上，形成干燥的陆地。干燥的陆地又不断遭受周围水体的侵蚀，这样循环往复。这一过程至今仍在海陆之间发生。

换句话说，土壤的形成并非由于过去发生的大灾难或罕见的突发事件，而是由于反复的潮汐现象，潮起潮落，沉积侵蚀，这一现象仍在继续。注

只要观察现状，就可以对过去发生的一切做出解释；或者，用后世思想家的话说："现状是揭秘过去的钥匙。"我们如今所看到的自然现象与过去的**一致**——并且，我们推测，未来的自然现象也将如此。"我们要研究目前地球的构造，"赫顿解释说，"为了理解过去自然的运行，（并且）得到原理，通过原理我们可以总结出事物未来的走向。"注

接受一致性原理（过去没有大灾难；陆地形成的自然进程今天仍在继续）会引出另一条结论。那些非常非常缓慢的变化进程，一定经过了**相当长**的时间。"总结我的观点，"赫顿写道，"我们确信……这一过程极度缓慢，以至于我们找不到合适的尺度来进行估算……我们的大陆形成至今，一定经历了无限的时间。"注

**无限：**超越了我们定义的能力。在他论文第一章的最后，赫顿进一步强调了这一点。"因此，这一客观研究的结果，"他断定，"就是我们没有发现开端的痕迹，也找不到结束的征兆。"这与希腊人所认为的永恒和不变的地球并不是一回事，而是一种客观世界的观点，这个客观世界的变化期限与我们所居住的世界完全不同。赫顿在论文中将布封所暗示的内容以文字表现出来：地质时间——"深时"，与人类的时间完全不同，因此我们不能用（衡量人类时间的）"年"来衡量地质时间。注

与相比较之下比较保守的布封的地质时间相比，赫顿的这番话更是公然违背了《创世记》，这也许可以解释赫顿为何在第一次本该出席皇家学会时会那样紧张了。但奇怪的是，他的论文——以“地球理论”（*Theory of the Earth*）为题出版三年之后——几乎没有激起愤怒。他的传记作家普雷佛尔将此归因于知识分子的疲惫。“创建地质理论的尝试频频失败，全世界（的知识分子）都疲倦了。”普雷佛尔抱怨道，“尝试创建理论的常常都是那些对自己所要解释的现象几乎一无所知的人。”[注]

吉恩·安德烈·德鲁克发表了一篇文章驳斥赫顿的自然界纪期论，爱尔兰化学家理查德·柯万（Richard Kirwan）也曾指责赫顿的理论“违背了理性和摩西历史的核心”。但是，地质学仍旧是一个崭新的领域，研究人员分散在各地。因此，《地球理论》面世10年之后，赫顿的一致性原理以及“深时”仍旧没有引起多少反响。“《地球理论》，”普雷佛尔不满地说道，“（本应该）骤然激起一阵强烈反响，此外……各地的科学家们本应该急不可耐地去关注其是否真正有价值。然而，事实却是，它迟迟没有引起他们的关注。”[注]

这部分地归因于赫顿迂回的写作方式。［正如丹尼斯·迪恩（Dennis Dean）所说的，赫顿“几乎不懂修辞”。］赫顿也没能解释过去到底**是否**发生过什么大灾难——这个问题令人困惑，因为沉积物以及化石层似乎证明了**某些**不寻常事件的发生，**有时**他们是发生在过去的。但是《地球理论》一书既是哲学，又是科学；赫顿是想试着建立地球科学的普遍原理（“我们必须通过现状才能了解过去”），而不是要去诠释个别地质层的历史。[注]

詹姆斯·赫顿长年遭受慢性肾衰竭的折磨，在他有生之年，他的理论既没有被广泛接受，也没有遭到彻底的反对。接下来的10年是漫长而痛苦的，他一直在修订扩充《地球理论》；修订后的书于1795年出版，结果却比修订前的版本更加晦涩难懂。

1797年3月，在写作了整整一天之后，他突然开始颤抖痉挛。他找来了私人医生，但医生刚到，他就去世了。[注]



赫顿去世前一年，一位年轻的法国博物学家乔治·居维叶将自己第一篇重要的论文递交给了位于巴黎的国家科学艺术研究所。

居维叶当时27岁，刚刚被选举为国家研究所（相当于法国的皇家学会）的成员。他曾在法国、德国学习，既读得懂亚里士多德的《动物志》，又学习过布封35卷的《自然史》，当时刚刚在位于巴黎的自然哲学国家博物馆（National Museum of Natural History）得到一份工作。他的工作是对大量的骨化石收藏品进行管理和分类——此前从来没有对它们进行过恰当的分类（一个“藏骸所”，他是这么称呼这里的），他还要举办动物解剖学的公众课程。

1796年他的一篇论文《关于现存大象的品种和大象化石的品种》（*Mémoires sur les espèces d’éléphants vivants et fossiles*）将印度象和非洲象的骨架与在西伯利亚发现的大象骨化石进行对比。许多博物学家都认为这些骨化石是古代大象的，但是居维叶发现二者的头骨形状、长牙和牙齿都不同，这证明了那些骨化石属于另一不同的物种——一种名为“猛犸”的动物，这种动物不是大象的一种，且早已灭绝。“猛犸”，他断定，已经灭绝了——这是一种不存在于地球上的“逝去的物种”。[注]

这一说法引起了很大的争议。

尼古拉·斯丹诺之后，大多数博物学家都认同化石是生物死后的遗迹，而不是造型奇怪的岩石。但在过去，认为所有的动物物种都灭绝了的观点从三个层面来说都是有问题的。它提出了一个神学上的难题：上帝创造出来的动物怎么会因设计不好而无法生存下去呢？这与

亚里士多德学派的生物学原理相抵触，亚里士多德的理论仍旧被许多学习动物解剖学的学生所接受：动物的机体结构逐渐发展，这样才能运转良好，在环境中生存下去。另外，这也与赫顿刚刚提出微小渐进变化理论相矛盾：由于变化过于缓慢，无法一次性清除所有生物，而且因为变化刚刚发生，它们的骨骼仍旧存在。

许多研究动物生命的学生仍旧坚持认为化石物种（比如西伯利亚的猛犸）是现存物种的变种，要么就（像大家所熟知的软体动物的遗迹菊石那样）仍旧存在于深海，或者是一些人类无法轻易探测到的地方。但是居维叶对此并不认同。

到目前为止，他还无法解释**为什么**有些物种已经灭绝了。他并没有先建立一个恢宏重要的关于生命的理论，然后用猛犸化石来附和该理论。相反，他使用了科学的、培根主义哲学的方法——对具体的自然现象进行细致的考察。通过考察，他得出了一个结论：猛犸并不是大象的一种，而是其他物种，但已经灭绝了。

他试图将所有曾在地球上栖息过的（或仍存在的）各种动物的历史联系起来，却惊讶地发现，他竟然建立了地球的历史。他在1796年的论文中写道：

> 最初接触到这种科学时，并没有意识到它与解剖学有如此紧密的关联，这种科学探讨的是地球的结构，梳理了地球历史上重大里程碑式的事件，并努力地勾画出地球所经历的巨大变革的历史图景；概括而言，只有借助于解剖学，地质学才能真正建立起来，解剖学的事实可以作为地质学的根基。(注)

**变革：**对于一个七年前刚刚经历过巴士底狱浩劫的国家来说，这个词难免带有冒犯之意。居维叶心中正在萌发另一种可能的解释——猛犸以及其他的化石物种（比如说被他命名为“乳齿象”的于俄亥俄州

发现的大型骨骼）可能已经在一次罕见的、全球性的、一次性的灾难中灭绝了。

在居维叶看来，地球的历史是反映人类社会巨大演进的一面镜子，没有什么比这更确定的了。因此，在骨骼分析之后，他开始进行推测：

> 这两种巨大的动物之间到底有何关系？我们现在已经找不到它们的踪迹，而它们的遗迹却遍布地球，也许它们早已灭绝？……这一些事实……在我看来，都证明在我们的世界之前存在着另一个世界，这个世界后来被某种灾难毁灭了。那么，原始的地球又是什么样的呢？这个不被人类主宰的自然界又是怎样的呢？是怎样的巨大变革才能毁灭它，才能让它除了一些半腐烂的骨骼外，不留一丝痕迹？

信奉培根主义科学的居维叶只能提出这些问题，却无法准确地做出解答：

> 这些问题会引发更加广泛的推测，而我们不应卷入其中。只有那些胆子更大的哲学家才那样做。不受关注的解剖学，一直以来局限于详尽的研究，局限于与观察和解剖所得出的客观事实进行严格对照。如今解剖学却为那些有勇气的天才开启了一条崭新的道路，对解剖学而言，这是一种殊荣。㊟

接下来的三四年，居维叶集中研究“不受关注的解剖学”，在他的“藏骸所”中对那些骨头进行分析和分类。到1800年，他已经鉴定出了23类已经灭绝了的物种。他发现自己日益靠近“那充满推测的广大领域”——关于地球自身的理论。在1804年至1805年间，他举办了一系列的公开课；其间他提出化石地层揭示了“地球并非一直保持现状的最有

力的证据”。利用发现了化石的岩石层可以构建一个地球发展的时间轴；化石层是一本关于地球过去的书，会观察的人才能读懂它。他有如下一些观点：

1.不含有任何有机体的化石是最古老的。所以说（生命）并不是一直都存在的。

2.地球的形态发生过一系列的改变，从海洋到陆地，从陆地到海洋。

3.地球经历了不同的时期，不同的时期产生不同的化石。

4.一些改变了地球形态的变革是迅猛的。注

居维叶从“猜测”进展到了假设：他现在认为，地球这本书中全部都是大灾难。

他一面准备并讲授公众课，一面与他在国家博物馆的同事、矿物学家亚历山大·布隆尼亚尔（Alexandre Brongniart）一同进行一个分析巴黎周边岩石层的项目。巴黎坐落在一个7000平方千米的沉积岩层盆地中；居维叶和布隆尼亚尔仔细绘制了一幅该盆地地层的截面图。1808年，他们将自己的发现递交到了国家研究所；1811年，他们的发现经扩展后印刷出版，供公众阅读。

他们解释说，**巴黎盆地**其基底是古老的白垩层；后来，地层一层一层不停地积淀。每一层都含有不同的化石。包括白垩在内，巴黎盆地总共有6种地层，代表地球过去曾经历6个不同的时期，每个时期中都生存着不同的植物和动物，其中有些生物已经灭绝了。

将历史时期按顺序命名为令人困惑的某某地层，这在自然哲学界引起了一些轰动；在欧洲大陆和英国，其他的矿物学家和“地质学家”（这仍是个新术语）都开始以同样的方式分析他们当地的岩石层。

居维叶的眼光更为开阔。他不久后断言，巴黎盆地的6个地层是地球的缩影，并且他很快地由自己的发现推出了适用于整个地球的理论。

1812年，他出版了化石论文集［《四足动物化石骨骸的研究》（*Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes*），这部文集汇集了他自1804年以来报告的和发表的各类研究论文］，他的上述理论作为论文集的第一部分随之发表。本论文集是一本针对专业人士的专业书籍，但标题为“初步探讨”（“Preliminary Discourse”）的第一部分是针对大众读者的。注

居维叶认为，地球曾经历过6次灾难性剧变。巴黎地层各层中所含的不同化石之间的变化非常突然和直接，并不是一点点渐进的（并不像赫顿的一致性原理所说的那样）；因此，非常清楚的是，一系列几乎是全球性的灾难导致了不同的动植物种群的灭亡，只有一小部分没有受到影响的区域中，一些动物和植物生存了下来，并且在改头换面后的地球上四处迁徙。《初步探讨》叙述清晰，有条理，涵盖了从化石层、土壤层和山体岩石中发现的证据，这些证据证明了6次大灾难的发生。“因此，地球上的生命总是遭受灾难，”居维叶断定，“这些大灾难一开始可能震动整个地壳，后来就深入地层深处……懂得如何去读这本书的人将清楚地发现，巨大且糟糕的灾难影响了世界每一个角落。”居维叶与赫顿的研究方法一致，但是对地球细致考察之后，两人的观点却背道而驰：一个认为地球历史是一个缓慢、长久、稳定、毫无波澜的单向进程，另一个则认为地球的历史充斥着大量的惊人的灾难。注

《初步探讨》这一部分被单独多次翻译和重印，其影响之大超出了居维叶的想象。认为地球经历过多次灾难的理论在读者中引起了共鸣——不仅仅是那些刚刚经历过大革命的法国人民，还有伴随着《圣经》长大的英国和欧洲大陆的读者们。居维叶的六个“时期”很容易让

人联想到《创世记》里的六天；他的大事件也使人想起《创世记》的*ex nihilo*（无中生有）、亚当夏娃的堕落以及大洪水。

而这绝非是居维叶的用意。他阅读的是巴黎盆地的地层，而非《创世记》。在《初步探讨》最后，他提出《圣经》中的大洪水，以及中国和印度关于洪水的传说，也许可以保存第六次灾难的记忆。“目前已知的所有传说都将社会的更新追溯至一些大灾变，”他写道，“（但是）最多只能追溯到五六千年之前……但在这些土地上……此前一直有生物在栖息，如果不是人类，至少是陆生动物。”他是依靠确凿的证据而非《圣经》故事得出自己的结论的。

事实上，尽管大洪水也许象征着人类文明的发端，人类存在的历史与整个地球的历史相比，也不过是一个最近才发生的极小的片断而已。“人类，”居维叶断定，“只被赐予了在地球上的须臾一瞬，（现在可能拥有了）重建在人类出现之前数千个世纪的历史及其物种的历史的荣耀。”注

这也是一种“深时”，是人类诞生之前的数千个世纪。

与赫顿漫长缓慢的一致性进程相比，居维叶的灾变论提出了一个完全不同的演变机制。接下来的几十年里，人们将会就一致性原理和灾变论哪一个才能对地球的原始数据做出解释而展开争论。尽管不同，这两个理论有共同的目的：都认为乌舍尔主教的地质时间太短，短到无法解释地球的历史。

阅读《地球理论》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

詹姆斯·赫顿

《地球理论》

（1785、1788年）

詹姆斯·赫顿的写作风格没有给他带来什么好处；甚至他的传记作家、最崇拜他的人普雷佛尔也谨慎地指出论证“有时会因作者过度追求严密的逻辑而显得不自然”，并且“作者独特的布局构思也会导致文章衔接的唐突”。尽管如此，赫顿认为地球历史漫长且一致的观点成了现代地质学的基础。没有必要煞费苦心地去读整本《地球理论》，这本书过于晦涩了，但一定要读读第一章，第一章中简要介绍了赫顿所认为的大陆形成的基本方法，也介绍了赫顿的“深时”说。

虽然通过英文文献在线资料库可以找到自1785年至1788年的多个版本，但它们所用的并非现代拼写，且扫描的版本常常不够清晰。现代排版的数字版本可以用Kindle阅读。

James Hutton, *Theory of the Earth*, Amazon Digital Services(e-book, no date, ASIN B0071FII7O).

詹姆斯·赫顿，《地球理论》，亚马孙数字服务（电子书，无日期，ASIN B0071FII7O）。

读者可以找到Kessinger Publishing出版的平装本重印版。

James Hutton, *Theory of the Earth*, Kessinger Publishing (paperback, 2010, ISBN 978-1162713540).

詹姆斯·赫顿，《地球理论》，Kessinger Publishing（平装，2010年，ISBN 978-1162713540）。

阅读《初步探讨》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

乔治·居维叶

《初步探讨》

（1812年）

居维叶作品最好的现代译本收录在一本居维叶作品选集中，由马丁·J.S.拉迪克（Martin J.S.Rudwick）汇编并翻译。该选集不仅收录了《初步探讨》，还有居维叶具有开创性的1796年的论文、1811年发表的关于巴黎盆地的论文以及其他论文的选段。

《初步探讨》或称“地球的革新”（当《初步探讨》单独出版时常常被冠以此名）在本书第十五章也会提到。没有必要通读拉迪克的序言，因为序言和《初步探讨》一样长，语言却不那么优雅。

Martin J.S.Rudwick, *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations & Interpretations of the Primary Texts*, University of Chicago Press (paperback and e-book, 1998, ISBN 978- 0226731070).

马丁· J.S.拉迪克，《乔治·居维叶、骨化石和地质大灾难——对重要文献的最新翻译和诠释》，芝加哥大学出版社（平装，电子书，1998年，ISBN 978-0226731070）。

罗伯特·詹姆森（Robert Jameson）1818年的译本，以“地球理论随笔”（*Essay on the Theory of the Earth*）为题出版，虽然在某些方面略显陈旧，但可读性仍旧比较强；读者可以找到该译本多个版本的免费电子书资源，也可在图书馆馆藏中找到。

Georges Cuvier, *Essay on the Theory of the Earth*, trans.Robert Jameson, Kirk & Mercein (hardcover ［out of print］ and e-book,

1818, no ISBN).

乔治·居维叶，《地球理论随笔》，译者罗伯特·詹姆森，柯克和梅辛［精装（绝版），电子书，1818年，无ISBN］。

1. “碳质页岩”这一术语专指英格兰西南部的一种无烟煤。
2. .Dennis R.Dean, *James Hutton and the History of Geology* (Cornell University Press, 1992), 1–3; John Playfair, *The Works of John Playfair, Esq.* (Archibald Constable, 1822), 4: 43–44.
3. .Playfair, *Works*, 46.
4. .Gian Battista Vai and W.G.E.Caldwell, eds., *The Origins of Geology in Italy* (Geological Society of America, 2006), 59–61: Martin J.S.Rudwick, *Bursting the Limits of Time: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution* (University of Chicago Press, 2005), 135.
5. .Playfair, *Works*, 12.
6. .Ibid., 49–50.
7. .Dean, *James Hutton*, 17, 24–25.
8. .Charles R.Van Hise, “The Problems of Geology,” *Journal of Geology* 12, no.7 (1904): 614–15.
9. .James Hutton, “Theory of the Earth,” *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 1 (1788): 301.
10. .Ibid., 304.
11. .Playfair, *Works*, 63–64.
12. .Dean, *James Hutton*, 18, 154.
13. .Ibid., 18; J.E.O’Rourke, “A Comparison of James Hutton’s Principles of Knowledge and Theory of the Earth,” *Isis* 69, no.1 (March 1978): 19.
14. .Jack Repcheck, *The Man Who Found Time: James Hutton and the Discovery of Earth’s Antiquity* (Perseus, 2003), 160–61.
15. .Martin J.S.Rudwick, *The Meaning of Fossils: Episodes in the History of Palaeontology*, 2nd ed.(University of Chicago Press, 1985), 104; Claudine Cohen, *The Fate of the Mammoth: Fossils, Myth, and History*, trans.William Rodarmor (University of Chicago Press, 2002), 106–8; John Reader, *Missing Links: In Search of Human Origins* (Oxford University Press, 2011), 45.

16. .Martin J.S.Rudwick, *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations & Interpretations of the Primary Texts* (University of Chicago Press, 1997), 21; C.L.E.Lewis and S.J.Knell, *The Making of the Geological Society of London* (Geological Society Publishing House, 2009), 77–78.
17. .Rudwick, *Georges Cuvier*, 23–24.
18. .Ibid., 84–85; Reader, *Missing Links*, 49.
19. .Rudwick, *Georges Cuvier*, 168.
20. .Ibid., 190; Trevor Palmer, *Perilous Planet Earth: Catastrophes and Catastrophism through the Ages* (Cambridge University Press, 2003), 30.
21. .Rudwick, *Georges Cuvier*, 248.

# 15
# 一个漫长而渐进的历史

## 均变论成为标准

自然的秩序从最初开始就是一致的。

——查尔斯·赖尔（Charles Lyell），
《地质学原理》（*Principles of Geology*，1830年）

1830年，地质学家查尔斯·赖尔站在了赫顿的一边，在这次争辩中发挥了重要作用。他认为变化是漫长且缓慢的，他的辩驳如此有力，以至于灾变论被从地质学词汇中除名——而且整整持续了一个半世纪。

查尔斯·赖尔是苏格兰人，他出生于赫顿去世的那一年。1816年，他进入牛津大学，本想学习法律，但他喜欢研究地球。第二年，他很大一部分时间都用来参加威廉·巴克兰德（William Buckland）在科珀斯·克里斯蒂（Corpus Christi）的地质学讲座。

巴克兰德是一位神职人员，但也是一位狂热的地质学家，自学了化学和矿物学。他是居维叶的信徒，地质灾变论的狂热支持者，也（像大多数同代人一样）笃信《创世记》。就像虚构的人物特里梅德一样，他也不觉得在地质学和信仰之间有什么冲突。他在讲座中解释道："摩西的历史与现代科学的发现一直非常和谐。"《创世记》中的创造地球的部分刚好对应了地球最重要的历史（最初的创生和人类的出现），处处都充斥着地质学。

> 如果地质学更进一步，证明目前的地球体系是建立在过去地球的废墟残骸之上；这与摩西的宣言完全一致，即整个物质宇宙从一开始是被万能的上帝创造的：尽管摩西历史的细节之处都是关于地球如何准备迎接人类的到来，却并没有否认此前还存在着另一个系统和另一群生物。(注)

年轻的赖尔认为这番言论太有说服力了。1818年，他和巴克兰德一同去巴黎做实地考察。“我们去了植物园，”他在日记中写道，“在那里，我再次查看了居维叶的授课室，里面满是化石，其中三件是先前世界遗留的重要遗迹。”先前的世界曾多次被破坏，在上帝最初创世与神灵再度干预之间人类出现了。(注)

但赖尔逐渐对居维叶的模式愈发感到不满。他（同早期大多数地理学家一样）通过自身努力致富，因此有足够多的时间去考虑这个问题；从牛津大学毕业后，他浅尝了法律行业但很快就放弃了，随后开始花时间学习地球研究所需要的各领域知识（他的清单上有“化学、自然哲学、矿物学、动物学、比较解剖学、植物学，概括说来……任何与有机或无机自然相关的科学”）。他进行实地考察，为了考察多岩山坡和遥远湖泊中的沉积层，他穿越了苏格兰；他加入了伦敦地质学协会，并提交了有关自己的发现的论文；他还与其他地球科学家通信联系。

1825年，赖尔尝试性地提出，灾难并**不一定**是导致过去各类现象的原因。“凭我们目前的知识，”他在伦敦《季刊评论》（*Quarterly Review*）中写道，“就做出如下推断有些草率：现存的原因是无法在几十年的时间里产生今天这样的结果的。”居维叶收藏的标本的形成**也许**是由于罕见的、毁灭地球的灾难。但我们当然也没有**否认**，“现存的原因”仍在影响世界——老生常谈的侵蚀、常见的温度升降、反复的潮水冲刷——这些也许才是原因。(注)

这些原因所需要的时间就很漫长了。

赖尔又用几年时间寻找证据，证明“现存的原因”，随着时间累积，可以产生同居维叶的大灾难一样大的能量。三年后，在法国的立马涅平原（Limagne plain），他发现了古代河床的痕迹，这个河床似乎是由于一条大河的侵蚀，是在花岗岩和火山岩组成的地层中形成的，而这种侵蚀的方式似乎不可能归因于大洪水或剧变，只能是由于漫长而缓慢的“时间的进程”。“这是一个惊人的证据，”赖尔在给父亲的回信中写道，“它证明了一条河连续地渗透几千或几万年会变成什么样子。”随后，他去了西西里岛，登上了埃特纳火山（Mount Etna），并徒步向意大利南部旅行；在这个过程中，他找到了越来越多的地质学证据，这些证据证明了从古至今，造成变化的原因始终只有一个。注

赖尔愈发坚信，灾变论将会把地质学这一门科学引入死胡同，而这就是他做出一切发现的基础。如果地球的现状是因为过去一次性的大灾难导致的，地质学家就不可能通过推理，真正理解地球的现状。一次灾难性的大洪水，或是过去的巨大彗星撞击，又或是诸如此类无法通过实验重演的灾难，都会使得试图解释地球举步维艰。这样，地质学就会停留在对历史的研究上，将对历史的演绎与观察相结合，加上一些永远不可能通过科学**证明**的推测。

1829年，他的意大利之旅即将结束，赖尔决定要阐述自己的原理，这些原理将会使地质学成为一门真正的**科学**。在那不勒斯（Naples）的一家旅馆中，他在给一位朋友的信中写道，他的地质学书已经“写了一部分并全部策划好了”：

> 我不会妄称这本书涵盖了目前已知的所有地质学知识，就连一份囊括所有的摘要都没有，但是，这本书努力构建的是科学要遵循

> 的推理原则；并且，我的地质学研究就是我对这些原则的观点的诠释。

这些原则保证了地质学家们在进行科学实验时，秉承牛顿物理学或伽利略天文学所要求的那份严谨精神。

> 除了现在正在起作用的因素，没有任何因素是从我们可以追溯到的最初的远古时期直到现在一直起作用的；并且……不论何时，它们的作用力都是相同的。[注]

只有**现在**还可以**观察到**的作用力，才会被赖尔接纳，并用于他百科全书式的阐述。他在另一封信中写道，他的目的是理解地球，

> （理解时）却不考虑彗星，不考虑天文学剧变，不考虑最初发热内核的冷却，不考虑地球自转轴的倾斜或地核的热量，不考虑火山喷发的热蒸汽、水体以及其他投机取巧的答案，而是通过最简单和最自然的方法。[注]

第二年，赖尔出版了他的地质学手册的第一卷，他拟了一个可以清楚地反映出他的意图的标题："地质学原理——通过考虑目前还在起作用的因素，解释地球表面过去变化的尝试"（*Principles of Geology, Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes Now in Operation*）。

在该书短短的26章中，赖尔阐述了地质学紧密相连的三原理，即我们现在所知的**现实论**（actualism）、**反灾变论**（anticatastrophism），以及（名称更冗长的）**地球体系均变论**（the earth as a steady-state system）。

**现实论**。过去的作用力目前仍旧在起作用（并且可以被观察到）。

**反灾变论**。在过去，这些作用力并没有加强，地质力量的**强度**任何时间都是相等的。

**地球体系均变论**。地球的历史并没有方向，也没有进展；各个时期本质上都是一样的。(注)

两年后，英国自然哲学家兼神职人员威廉·惠韦尔（William Whewell）为赖尔的原则命名为“地质均变论”（*uniformitarianism*）。从此以后，我们就以此名称呼赖尔的原理。

《地质学原理》很快就卖光了。赖尔对证据的细致梳理、清晰表述以及他反复保证（也许并不是完全真心的）自己也笃信造物主的存在，这一切使他立即赢得了众多英语读者。半个世纪后，博物学家兼哲学家阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士（Alfred Russel Wallace）总结了《地质学原理》在英国的成功：

> 1830年，居维叶名望正盛，他的书正被翻译成多国语言时，一位至今不知名的作家出版了一部著作的第一卷，这部著作驳斥了灾变论的根基，并通过大量的事实以及严谨的推理，揭示出灾变论几乎各部分都掺杂了或多或少的想象成分，且都与自然最浅显的教义相抵触。《地质学原理》大获全胜。自《地质学原理》出版之日起，英文版的《地球理论》就销声匿迹了。(注)

但该理论在欧洲大陆被接受相对缓慢。但是由于该理论非常清晰合理，最终得到了全世界地质学家的支持。

而且是持续的支持。20世纪60年代，美国地质学家沃尔特·阿尔瓦雷茨写道，地质均变论仍旧是领域内的“信条”，并且“已经建立起来的

科学知识并不是关于任何剧变的——没有大灾难——曾发生在地球历史中”。漫长、缓慢、渐进的变化已成为新科学唯一承认的变化；赖尔胜利了。(注)

阅读《地质学原理》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

查尔斯·赖尔

《地质学原理》

（1830—1832年）

目前可以找到的《地质学原理》版本大多包括了赖尔自1830年至1832年创作的全部三卷。起初，赖尔打算只写两卷，一卷探讨他的总原则（第一卷），第二卷中提供更多具体的地质学依据（最终的第三卷）。但最终，他意识到还需要解释一下化石记录，因此他又增加了一卷（第二卷）。如果你想了解地质学的目的，可以只阅读第一卷，这一卷阐述了地质均变论的原则。

1830年的版本可以在网上找到，也可通过众多资源下载PDF版本。企鹅系列丛书也曾出版了一版高质量的平装本，由詹姆斯·A.赛科德（James A.Secord）主编，其中包括特别有用的导言以及所有三卷。

Sir Charles Lyell, *Principles of Geology, Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes Now in Operation*, vol.1, John Murray (e-book, 1930, no ISBN).

查尔斯·赖尔爵士，《地质学原理——通过考虑目前还在起作用的因素，解释地球表面过去变化的尝试》，第一卷，约翰·默里（电子书，1930年，无ISBN）。

Charles Lyell, *Principles of Geology*, ed.James A.Secord, Penguin Books (paperback and e-book, 1997, ISBN 978-0140435283).

查尔斯·赖尔，《地质学原理》，詹姆斯·A.赛科德主编，Penguin Books（平装，电子书，1997年，ISBN 978-0140435283）。

1. .William Buckland, *Vindiciae geologicae: or, The Connexion of Geology with Religion Explained* (Oxford University Press, 1820), 24.

2. .Charles Lyell, *Life, Letters, and Journals of Sir Charles Lyell, Bart*., ed.Katharine M.Lyell (John Murray, 1881), 1: 63; J.M.I.Klaver, *Geology and Religious Sentiment: The Effect of Geological Discoveries on English Society and Literature between 1829–1859* (Brill, 1997), 19.

3. .Charles Lyell, *Principles of Geology*, ed.James A.Secord (Penguin, 1997), 3, 6; Klaver, *Geology and Religious Sentiment*, 21–22.

4. .Lyell, *Life, Letters, and Journals*, 186–87; Klaver, *Geology and Religious Sentiment*, 22, 26.

5. .Lyell, *Life, Letters, and Journals*, 234–35.

6. .Ibid., 262.

7. .Michael Ruse, *The Darwinian Revolution: Science Red in Tooth and Claw*, 2nd ed.(University of Chicago Press, 1999), 17ff; Lyell, *Principles of Geology*, 240–42.

8. .Alfred Russel Wallace, *The Wonderful Century: The Age of New Ideas in Science and Invention* (Swan Sonnenschein, 1903), 349.

9. .Walter Alvarez, *T.rex and the Crater of Doom* (Princeton University Press, 2008), 51.

# 16
# 无解的问题

## 计算地球的年龄

> 只有考虑到地球的形成过程，才能解决地质学上许多的根本问题。
>
> ——亚瑟·霍姆兹（Arthur Holmes），
>
> 《地球的年龄》（*The Age of the Earth*，1913年）

赖尔对灾变论的激烈反对一度取得了巨大的胜利。

但实际上，《地质学原理》出版近百年后，由于地质学家无法通过现状去从理论上解释地球过去的事件，这本书一直未能获得应有的地位。这些推测让人不免想起17世纪的神学探究、《圣经》的创世论以及地质学成为**科学**之前的年代。

问题在于，严格的地质均变论没有回答地质学中的一个最重要的问题。

如同虚构的人物特里梅德，查尔斯·赖尔曾试图将地球的起源归因于宗教而非地质学，以此来逃避这一问题。“也许有一个开端——”他对一位早期《地质学原理》评论家写道，“但这是一个形而上学的问题，值得引起神学家的注意——也许还会有一个终点。”但他的理解仅限于此。地质均变论使他不可能去思考**任何**关于起源的理论，因为开始（和结束）的存在就意味着过去（和未来）**的确**不同于现状。

赖尔无法接受地球起初是一个熔化的球体并在无限漫长的时间中冷却下来的观点，正如他无法接受在诺亚时代，上帝让天空裂开，给地球带来了大洪水。关于起源的理论有可能会避开培根主义推理，另辟一条简单的蹊径，通过引入新的、费解的原因来取代真正的理解。“我要求的，”在《地质学原理》出版前夕赖尔写道，“是在面对过去的任何时期时，不要停止探索，即便是遇到‘起源’的问题而逃避并感到迷惑不解时……在任何情况下，我们都要问问：‘虽然我对于现存原因可能引起的结果一无所知，但是目前来说可能性最大的是什么？’或者，‘起源’是导致这令人困惑的现象的原因吗？”(注)

但是，我们要研究的地球是非常复杂的客体。不同于物理学定律或化学定律；地球是一个**场所**，是一个有历史的客体。地球表面上遗留了漫长历史的痕迹。过了一段**时间**后，它成了一个物种的家园。“约翰·赫登（John Heddon），31岁，”一篇典型的英国19世纪新闻稿开头写道，“托马斯·盖登（Thomas Gaydon），68岁，从脚手架上摔了下来。”两个人的年龄似乎与各自的事件没有什么联系，但是某人（或某物）已经存在的时间长短会改变人类对他的理解方式。要漠视历史是不容易的。(注)

因此，赖尔之后，之所以许多思想家试图协调均质论的主要原则与人类估计地球年龄的欲望之间的关系，也就不令人感到吃惊了。

《地质学原理》出版30年后，出生于贝尔法斯特（Belfast）的数学家威廉·汤姆森（William Thomson）——后来被称为开尔文勋爵（Lord Kelvin）——将一条普遍适用的法则应用于太阳系，并得出了一个终点和一个可能的起点。这条普遍适用的法则就是热力学第二定律（the Second Law of Thermodynamics）：当能量从一种形式转化为另一种形式时，在这个过程中，总会有一部分能量被损耗。(注)太阳是一台自然引擎，将能量转化为热能。因此，每次转化的时候，太阳总

会失去一些能量。因此在过去，太阳一定比现在更热；而在未来，太阳则会持续降温。

换句话说，均质论并不是指**静止**，也不是指停止发展。汤姆森写道，如果我们接受“已知的目前客观世界中仍在继续的进程”是唯一有可能曾作用于过去的进程，那么结论就很简单了：“在过去一段有限的时间里，地球一定曾经不适合人类居住；在未来一段有限的时间内，地球还会再次不适合人类居住。”均质论意味着地球随时间推移发生了急剧的**变化**。太阳的存在不可能超过5亿年（1亿年比较可能）；因此地球也不可能永远地环绕太阳旋转，总有一天，地球会再度停止绕日旋转。

两年后，爱尔兰物理学家约翰·乔利（John Joly）根据从陆地渗入海水（这是一个持续存在的、可观察的过程）的钠的含量估算出海洋大约存在了1亿年。他的努力和汤姆森一样，都尊重了赖尔的原理。

1亿年是一个漫长的时间段，5亿年就更漫长了。但是这两个时间段还满足不了赖尔严谨的均质论的要求。缓慢而渐进的变化需要更多的时间。

※

20世纪前25年，一种新的年代测定法出现在地质学研究领域的视野内。

1895年，德国物理学家威廉·伦琴（Wilhelm Roentgen）在他的实验室中观察了“神秘的射线”，即可以穿透固体物质的能量粒子流；因为尚无其他的命名方式，他将其称为“X射线”。第二年，另一位物理学家，来自巴黎的安东尼-亨利·贝克勒尔（Antoine-Henri Becquerel）发现了从铀盐中发射出来的相似的“射线”。1898年，玛丽·S.居里（Marie S.Curie）和皮埃尔·居里（Pierre Curie）观察到了同样的现

象，这次是从钍中发射出来的。居里夫妇将这一射线命名为“放射性”，并提出，从钍和其他元素中发射出来的粒子流并不是来自分子，而是来自一个个原子。

四年后，物理学家欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford）和化学家弗雷德里克·索迪（Frederick Soddy）断定，这些原子实际上是在进行**分裂**。它们是不稳定的（也许是因为它们的原子量太大，或能量太高），因此它们不断抛出粒子以保持平衡。它们分裂的速度是可度量的、恒定的、可预测的。

欧内斯特·卢瑟福提出，这意味着可以通过测量衰变的时间来测定含有不稳定元素的矿物的年代。“这是计算它们年代的最有效的方法。”他于1906年写道，“的确，很有可能，这最终会成为确定各种地质学形成物年代的最可靠的方法。”尽管他无法做出准确的测量，但是心中至少有一个时间范围。“许多主要的放射性矿物，”他断定，“无疑是在1亿到10亿年前沉积在地球表面的。”

卢瑟福的读者并不会对1亿年感到惊讶。但是**10亿年**——则是另一个完全不同的时间框架。



1906年，亚瑟·霍姆兹16岁。他从小就被培养成了一名虔诚的卫理公会派信徒，那一年他正准备进入大学学习物理学；他对《圣经》注解的内容感到困惑。“我至今还记得，创世日期——公元前4004年的魔力深深吸引了我，它出现在《创世记》第一页的页边空白处，”他长大后写道，“多出来的‘4’使我非常困惑，为什么不能刚好是4000年呢？为什么又是如此近的一个日期？他们怎么知道的呢？”在皇家科学院学习物理学的同时，他对卢瑟福的新的年代测定法也愈发感兴趣；学位刚刚修了一半，亚瑟·霍姆兹就从物理学领域转到了地质学领域。

那时地质学领域中有一些轻微的骚动。威廉·汤姆森（1892年成为凯尔文男爵）那时刚刚逝世，享年83岁。他对地球年龄的估计不断减小。他最初估计地球年龄的上限为5亿年，后来不断地反复计算，最终缩减至约2000万年。卢瑟福的“放射性年代测定法”产生了各种迥然不同的结果；那时人们对放射性元素的分解仍旧所知甚少，测量剩下的衰败物也是一项复杂而多变的任务。亚瑟·霍姆兹在本科生和博士生阶段都投身于崭新的、非常不稳定的放射性领域。

霍姆兹坚信通过放射性年代测定法可以得到更加精确的结果。“每一种放射性矿物，”刚刚拿到博士学位的他写道，“都可被视为一种计时器，**极其准确地**记录了自己出现的年代。”㊟

不过，要想达到极度的精确尚需时日。在霍姆兹早期的一个实验中，他利用卢瑟福和索迪的衰变速度测定了一块挪威岩石层的年代，测定结果是3.7亿年。随后不久，他计算了另一块岩石样本的年代，大约是16亿年。23岁时，他写了第一部书，书的很大一部分都在解释**为何**放射性方法计算出的年代范围如此之广。㊟

《地球的年龄》（*The Age of the Earth*）出版于1913年，至今仍旧是地质学领域的标准——但这并非是因为它回答了书名所指的那个问题。（事实上，在书中，霍姆兹从未真正指出地球的年龄可能是多少，之后又过了相当长一段时间后他才做到了。）

而是因为《地球的年龄》轻微扭转了正处于发展时期的科学的轨迹，使其偏离了赖尔严格的地质均变论。

霍姆兹并不认为均质论有什么问题。事实上，他认为赫顿和赖尔都促进了地质学的发展，因为二人都使得地质学放弃了原有的地球起源的理论。他写道：

> 关于地球起源的推测，是许多早期文章的主题，并且，从人类知识发展的整个历史阶段来看，这个问题是人们最感兴趣的。然而，直到最近，理性的推测才取代了想象……起初，地质学的科学地位确立后，地质学绝不肯严肃地考虑当时热门的宇宙进化论。是赫顿首先将地质学从一场无法避免的争论中解救出来，这场争论源于对万物起源的过早的探讨。此外，赫顿还提出要对自然进行直接的观察，以此代替传统的学究式的辩论。

但是，我们无法永远忽略这个问题：

> 然而今天，我们仍旧无法仅凭地质学事实就信心十足地推测出地球开端时的细节，但是，完全的不确定性也消失了。不确定性曾经是赫顿对自己完全无视地球起源的辩解。天文学、物理学和化学都已经……做了很多，将我们现代的观点从推测的危险流沙中拯救出来。注

霍姆兹断定，开尔文勋爵对地质学做出了很大的贡献，因为他重新提出了地球年龄的问题："他侵入了地质学领域……他认为均质论的原理被过度使用了，并对此提出了抗议。"

但是放射性理论，而非热力学第二定律，将会解锁地球年龄的秘密。霍姆兹断定，放射性矿物是"从起源时就上了发条的时钟"，并且"我们现在很有信心，我们掌握了读出这些计时器的方法"。

这份信心也许有些为时尚早，因为放射性年代测定法当时所能测定的年代区间仅是从3.7亿年到12亿年。其中包含了非常复杂的因素；许多因素还未知，许多工作还没有做。尽管如此，霍姆兹还是有信心。"问题已经从定性的阶段进步到了定量的阶段，"他断定，"在严谨的实验基础之上，精确的测量成为可能，这在地质学历史上还是首次。"注

在1913年，他的这番话听起来更像是预言，而不是在陈述事实。但是在接下来的10年中，放射性衰变研究得出了越来越多、越来越准确的数据，对地球年龄的估计也开始局限于一个更为清晰的范围之内。在后来出版的书中，霍姆兹的立场又发生了改变，从30亿年到16亿年，再到30多亿年；到1930年，欧内斯特·卢瑟福继续霍姆兹的研究，计算出地球形成于“大约$4 \times 10^9$年前”：40亿年。注

不到30年的时间里，几乎整个科学界都转向了霍姆兹带来的新的科学轨迹。

“地质均变论是一个伟大的进步，”霍姆兹写道，“但是细究起来，如果将其奉为绝对信条，它很可能将我们引入歧途。”地质均变论仍旧是地质学的基本推测，但是人类理解地球的历史——一个有起点、有方向并且（极有可能）有终点的历史——的需要使得均变论不那么突出了。注

阅读《地球的年龄》相关节选，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

亚瑟·霍姆兹

《地球的年龄》

（1913年）

《地球的年龄》原稿可以在网上找到（http://susanwisebauer.com/story-of-science），其PDF格式的版本也可以从福高腾图书（Forgotten Books）中下载（通俗易懂，但是转化成下载的格式会改变书的格局，并重置标题，由于机器操作，因而常常使标题出现在页中部）。Harper’s Library的原版，其中包括了霍姆兹的插图和图表，在许多高校图书馆以及大型公共图书馆中都有收藏。

谨慎购买二手印刷本，因为市场上许多印刷本的印刷质量都很差，是电子版的按需打印版。可以选择欧内斯特·本尼（Ernest Benn）和纳尔逊（Nelson & Sons）的印刷本。

Arthur Holmes, *The Age of the Earth*, Harper & Brothers (hardcover and e-book, 1913, no ISBN).

亚瑟·霍姆兹，《地球的年龄》，Harper & Brothers（精装，电子书，1913年，无ISBN）。

1. 热力学第二定律更为人所知的，也许是与其相关的更简单的表述：宇宙中的熵不断增加。（能量持续不断地损耗是导致宇宙的自然引擎最终停止运转的原因。）
2. 本书第26章对原子理论的公式进行了简要的探讨。


3. .Charles Lyell, *Life, Letters, and Journals of Sir Charles Lyell, Bart*., ed.Katharine M.Lyell (John Murray, 1881), 1: 269, 270.
4. .Untitled column, *Exeter Flying Post*, October 3, 1844.
5. .G.Brent Dalrymple, *The Age of the Earth* (Stanford University Press, 1991), 32–33.
6. .Ibid., 69–71; LaVerne Tolley Gurley and William J.Callaway, *Introduction to Radiologic Technology*, 7th ed.(Mosby, 2011), 58–62; Kristin Iverson, *Full Body Burden* (Crown, 2012), 173.
7. .Ernest Rutherford, *Radioactive Transformations* (Yale University Press, 1906), 190–91, 194.
8. .Don L.Eicher and Arcie Lee McAlester, *The History of the Earth* (Prentice-Hall, 1980), xvi; Cherry Lewis, *The Dating Game: One Man's Search for the Age of the Earth* (Cambridge University Press, 2000), 27.
9. .Arthur Holmes, *The Age of the Earth* (London: Harper Brothers, 1913), 17.
10. .Lawrence Badash, "The Age-of-the-Earth Debate," *Scientific American* 261, no.2 (August 1989): 96.
11. .Holmes, *Age of the Earth*, 21, 22.
12. .Ibid., 11, 164, 166.
13. .Ernest Rutherford, James Chadwick, and Charles Drummond Ellis, *Radiations from Radioactive Substances* (Cambridge University Press, 1930), 536.
14. .Holmes, *Age of the Earth*, 173.

# 17
# 伟大理论的复兴

## 大陆漂移

> 要确定“真相”……（就是）找到将所有已知事实以最有序的形式陈列出来的图景，因此才有最大的可能性。
>
> ——阿尔弗雷德·魏格纳（Alfred Wegener），
>
> 《海陆的起源》（*The Origin of Continents and Oceans*，1915年）

放射性元素的衰变将时间重新引入了赖尔严谨的地质均变论中。

现在，地球**曾有**一个开端（尽管还没人准确知道开端的时间），这似乎已是不可否认的事实了。因此，赖尔所提出的漫长、缓慢、可预测、大多数情况下一致的一系列变化也都有了一个开端。

这也引发了一系列其他问题：地球在开始时是什么样的？这些缓慢的变化是怎么改变了地球的最初形态？此外（与赖尔的原理相一致），在今天我们还能检测这些缓慢的变化吗？它们还随着时间在进行吗？

奥地利地质学家爱德华·休斯（Eduard Suess）的“热收缩”理论拥有大批追随者，这一理论退回到了牛顿的熔化地球逐渐冷却的理论，并与赖尔的侵蚀沉积循环相结合。根据热收缩理论，当新生的超高温地球开始冷却为一个固态球体时，地壳收缩并褶皱，就像一颗正在风干

的苹果。地壳的一部分向内褶皱，形成了海盆，坍塌的海盆互相挤压，使中间的地壳上升直达大陆。随后，地球**继续**降温（根据放射性元素的测量，这个过程大约有几百万年），并进一步收缩，然后大陆又向内坍塌将海盆抬高。这是一个反复的循环过程，“海陆不断交替”将山顶的化石推到了海洋底部，然后再推回到山顶，如此循环——这就可以解释为什么海洋生物化石出现在了山体中，为什么同种化石遗迹会在不同的、彼此分割的大陆中找到。[注]

其他的地质学家接受了热收缩理论的基本模型，但是反驳说陆地和海洋的位置一直都是没有变化的（“大陆固定”理论）。侵蚀和淤积，或者可能是地震带来的火山活动，形成或毁坏了大陆之间的陆桥。动物，最终是人类，在陆桥上生存，陆桥后来断裂了。

但是，热收缩理论也有许多问题。

一方面，“陆桥升降”［内奥米·奥利斯克斯（Naomi Oreskes）的表述］的观点看起来是权宜之计。放射理论还带来了另一个问题：现在看来一些原子随着时间推移会产生**越来越多**的热量，这完全不符合均质论中炎热的地球正在降温的说法。[注]

此外，不止一位物理学家曾通过计算得出，地球的密度太大，不可能通过收缩产生高山和洞穴般的海盆。回溯1881年，物理学家奥斯曼德·费舍尔（Osmand Fisher）曾提出，也许地球曾经**并非是**固体；也许地球上曾存在“流体基底”，即最深处的、柔软的、易变形的地层，上层的地表变动、破裂和漂移。与费舍尔同时代的美国地质学家C.E.道顿（C.E.Dutton）曾指出，冰川运动是一个例子，证明了固体地层是怎样上下“漂移”的。但是无法证明流体基底的存在，也没有证据证明地球干燥的固体表面**曾经**如同一块薄冰。[注]

阿尔弗雷德·魏格纳是一位德国天文学家，对天气尤为感兴趣，他给出了一个不同的答案。

“在地球仪上，将南美洲和非洲相对的海岸进行对比，”他于1915年写道，“你一定会因为两条海岸线的契合而感到惊讶。”这一拼图般的贴合使他想到，各个大陆曾经也许是一整块，一块巨大的超级大陆，他称之为“泛古陆”（Pangea）；很久很久以前，泛古陆分裂了，分裂的部分四处漂移。注

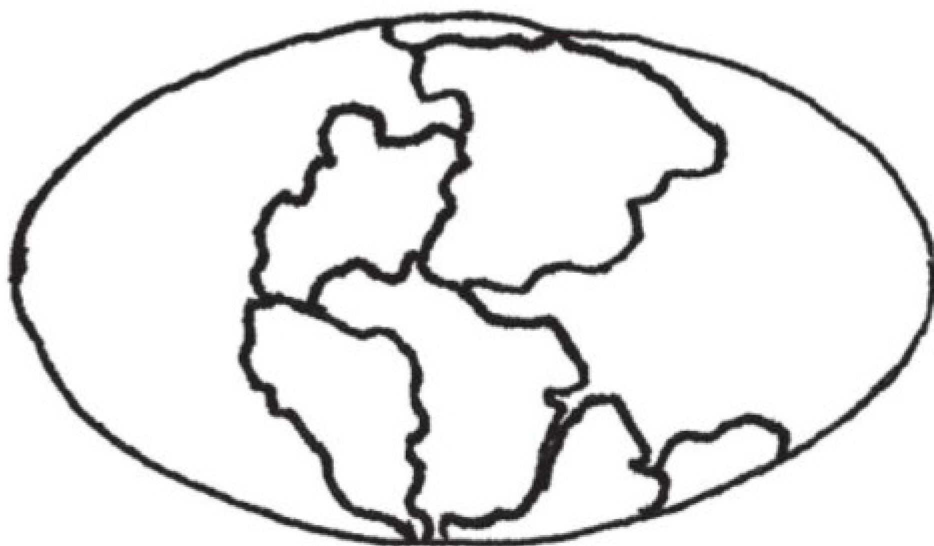






图17.1 泛古陆与大陆漂移

这一理论要求他进一步解释，固态的地球是如何“漂移”的。因此，他提出，地球可能并不完全是固体。相反，它有一个液态的内核，内核周边环绕的是一系列地壳，越接近地表的地壳密度就越大。

这个解释简单且明确，几乎可以解释所有困惑着地质学家的问题：相距甚远的化石不可思议的相似，大陆海岸线明显的契合，山体的存在（当漂移的版块碰撞并叠加，山体就会形成）。但在地质学领域，该解释面对的则是尖声嘲笑。

这种反应的出现并非没有原因。尽管大陆漂移学说有助于我们理解地图，但魏格纳在构建该学说时，并没有其他的实实在在的证据。这一重大的理论遵循了亚里士多德学派的传统：首先提出了这一重要的解释，然后仅仅凭借该理论内部的一致性来捍卫它。这并不特别“科学”，美国地质学家哈里·菲尔丁·里德（Harry Fielding Reid）在一篇评论中抨击道：“科学之所以能发展至今，靠的是煞费苦心地比照观察结果，并通过严谨的归纳，跨一小步推出原因；而不是首先猜测原因，然后演绎出现象。”古生物学家查尔斯·舒克特（Charles Schuchert）也不满地说：“魏格纳假说和方法的所有问题在于……他简单地从其他归纳中归纳出了自己的结论。”舒克特的同事爱德华·贝里（Edward

Berry）任教于约翰·霍普金斯大学，他也同意舒克特的观点。贝里写道：

> 我之所以反对魏格纳的假说，主要是反对他的实验方法，在我看来，这不符合科学性，先选择一个观点，然后有选择性地阅读文献，寻找有利于自己的证据，忽视那些反对观点，最终陷入一种自我麻痹的状态，主观的观点就会被当成客观的事实。(注)

另一方面，魏格纳没有经过大量专注细心的观察，也没有具体的事实来支撑热收缩原理，更别提消失了的陆桥了。

魏格纳直觉性的跳跃遭到了强烈的反对，反对之声也许与领域的自我保护有关系；魏格纳既不是地质学家，也不是古生物学家，他是气象学方面的生手；他是一位冒险家——一次他在冰冷的格陵兰岛扎营，为了生存下来，他不得不吃掉自己的马；他是一个德国人，曾在第一次世界大战期间为同盟国战斗。但是，他的漂移理论**的确存在**无法否认的不足之处。魏格纳无法解释该理论的机制，他也无法解释为什么泛古陆不能就那样停留在那个超级大陆的阶段。大陆漂移说也是极度反直觉的。人们几乎不可能想象出来巨大的陆地深入深海，让海水分开，就好像是斯塔腾岛渡轮（Staten Island Ferry）那样。这个理论需要一个概念上的跳跃，这与400年前的那个理论不无相似之处；根据那个理论，看似明显处于静止的地球被送到太空中高速运转。

魏格纳本人也意识到了问题所在，但他相信，他的理论具有的解释力足以克服具体证据的不足。他辩驳道，毕竟地球“没有提供任何直接的信息”，即关于其构造的证据：

> 我们就像法官一样，面对的是一个拒不回答问题的被告人，我们就必须通过间接证据来确定真相。而我们可以找到的所有证据都一定会有误导性的特征……只有通过将所有地球科学的信息联系起

> 来，我们才有希望确定“真相”，也就是说，找到将所有已知的事实以最有序的形式陈列出来的图景，因此才有最大的可能性。[注]

魏格纳继续研究自己的理论，并加入新的论点，修订并重新出版了《海陆的起源》（*The Origin of Continents and Oceans*）。这本书陆续还出了第二版、第三版。在欧洲和北美的讲座与研讨会上，他总结了自己关于大陆漂移说的观点。“这一理论提供了答案……为许多显然无法解决的问题提供了答案。”他于1922年写道。[注]

大多数地质学家仍旧持反对态度。1928年，海军天文学家F.B.利特尔（F.B.Littell）和J.C.哈蒙德（J.C.Hammond）比较了华盛顿和巴黎在1913年和1927年的经度。数据结果无可置疑，显示这两个城市之间的距离增加了4.35米——每年都会缓慢移动0.32米。

鉴于巴黎与华盛顿相隔6000千米，那么两个城市可能用了1800万年才分隔如此之远。毫无疑问，漂移是可以测量的了。1929年，魏格纳出版《海陆的起源》第四版，也就是最终版本的时候，他将利特尔和哈蒙德的测量数据放在了最后的附录中。“这个变化的方向和程度，”他断定，“与大陆漂移说的推理极其吻合。”[注]

魏格纳去世前，他的理论没有引起什么反响。当第四版出版时，他正在筹备第四次去格陵兰岛考察。他于1930年春天到达格陵兰岛，并在名为伊斯米特（Eismitte）的研究站搭建了考察营地，营地基本上位于岛的中心。但所有可能发生的坏事都发生了：冰层比他想象的要厚，天气不稳定且极度恶劣，他雇用的探险队向他索要更多的佣金，没有得到补给，狗拉雪橇队失踪。“这是一场大灾难。”8月末，他在给一位同事的回信中写道。[注]

11月初，食物短缺，气温远远低于零度，魏格纳和一个伙伴抛弃了营地，开始向250英里之外的有供给的谢恩戴克（Scheideck）营地

出发。但他们没有到达。1931年春天，人们在伊斯米特和谢恩戴克之间发现了魏格纳的遗体，而他的同事则尸骨无存。



失去了捍卫者，大陆漂移说本可能会轻易衰败，但是它的解释力的确太强大了。

亚瑟·霍姆兹认为这个理论非常有趣，并提出大陆的移动可能是热的**对流**造成的，即地幔的缓慢移动，地幔是地壳之下的发热地层。他总结说，这一地层可能非常灵活，可以在迟缓的洋流中回旋流动，就像沸腾着的炖锅，每次翻滚时都会使得上层的地壳移动。

这最终证明是一个正确的解释，但霍姆兹同魏格纳一样，无法窥探到地壳以下来寻找证据。地质学需要通过人造仪器来延伸人的感官，这些仪器对地质学家的作用就如同显微镜和熔炉对化学家所起的作用一样。

这些仪器最终从战争中诞生了。

声呐技术起初发展起来是为了帮助船只搜寻伺机攻击的潜艇，20世纪50年代被应用于海盆地图的绘制。地质学家第一次看到了海洋的特征：大陆架、深海平原、洋中脊和海沟，完整的水下地形。哈雷·赫斯（Harry Hess）是海盆地图的绘制者之一。第二次世界大战前他在普林斯顿大学教授地质学；第二次世界大战期间，他指挥了一支配备了声呐的舰队。1962年，他发表了一篇论文，提出最新绘制的海盆地图的特征可以证明热对流的存在；洋中脊就是地幔中缓慢流动的物质将热物质向上推动到海底形成的新的地壳。在海沟所在的位置，地壳下陷入地幔，融化并重新融入熔岩流。霍姆兹是对的。“大陆并不是受到未知的力的推动而冲破海洋地壳，”赫斯写道，“而是，当地幔物质从

洋中脊涌到表面，并侧向移动远离洋中脊时，大陆就被动地漂浮在地幔物质之上。”注

赫斯［以及后来两位剑桥大学的研究人员F.J.万恩（F.J.Vine）和德拉蒙德·马修斯（Drummond Matthews）］为板块构造学提供了基础——这一理论（最终形成于20世纪60年代）认为地壳是由彼此分离的、不停移动的碎片或**板块**组成的，它们“漂浮”在地球的地幔层之上。这就是魏格纳一直没能找到的机制。这一伟大的理论最终得以证明——半个世纪后。

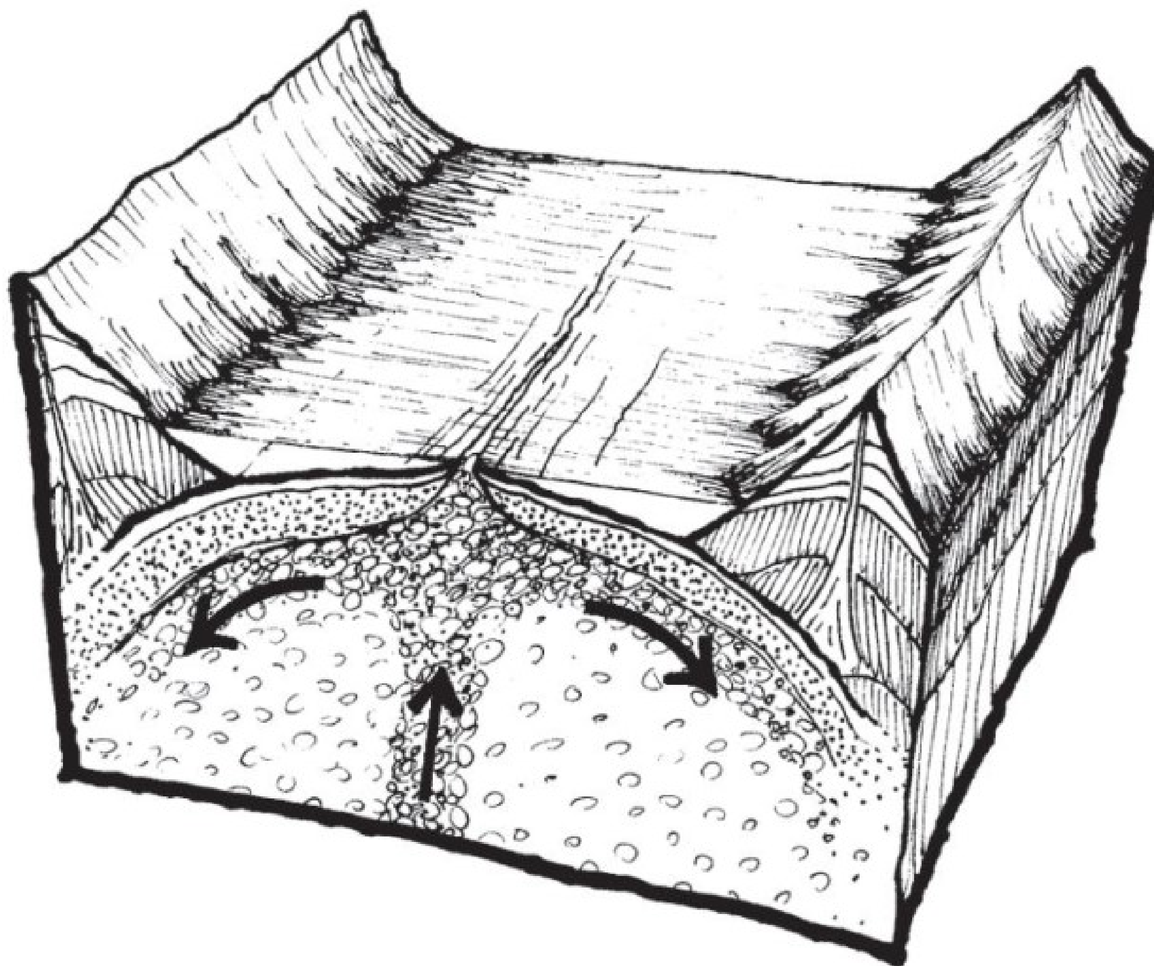


图17.2 热对流

阅读魏格纳于1922年写的对自己观点的简短提要，

请登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

阿尔弗雷德·魏格纳

《海陆的起源》

（1915、1929年）

约翰·比莱姆1966年的译本（翻译了1929年的第四版）已由多佛出版社印刷出版，读者可以找到印刷本和数字版。

Alfred Wegener, *The Origin of Continents and Oceans*, trans.John Biram, Dover Publications (paperback and e-book, 1966, ISBN 978-0486143897).

阿尔弗雷德·魏格纳，《海陆的起源》，译者约翰·比莱姆，多佛出版社（平装，电子书，1966年，ISBN 978-0486143897）。


1. .Naomi Oreskes, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science* (Oxford University Press, 1999), 10, 16–17.

2. .Edmund A.Mathez and James D.Webster, *The Earth Machine: The Science of a Dynamic Planet* (Columbia University Press, 2004), 87.

3. .Oreskes, *Rejection of Continental Drift*, 27, 33.

4. .Alfred Wegener, “The Origin of Continents and Oceans,” *Living Age*, 8th series, vol.26 (April/May/June 1922): 657–58; Mathez and Webster, *Earth Machine*, 87.

5. .Oreskes, *Rejection of Continental Drift*, 157; H.E.Le Grand, *Drifting Continents and Shifting Theories* (Cambridge University Press, 1988), 65.

6. .Alfred Wegener, *The Origin of Continents and Oceans*, trans.John Biram (Dover, 1966), viii.

7. .Wegener, “Origin of Continents and Oceans,” 658.

8. .Wegener, *Origin of Continents and Oceans*, 217.

9. .David M.Lawrence, *Upheaval from the Abyss: Ocean Floor Mapping and the Earth Science Revolution* (Rutgers University Press, 2002), 17–18.

10. .Mathez and Webster, *Earth Machine*, 90–91.

# 18
# 大灾难归来

## 将罕见的灾难重新纳入地球历史

6500万年前，在希克苏鲁伯，一块陨石撞击了地球，地球上的生命就此永远改变了。

——沃尔特·阿尔瓦雷茨（Walter Alvarez），

《雷克斯和末日火山口》（*T.rex and the Crater of Doom*，1997年）

大陆漂移理论首次发表7年后，J.哈伦·布雷茨（J.Harlen Bretz）对地球的外形提出了一个更骇人听闻的解释。

布雷茨是芝加哥大学的地质学教授，他与一群学生一同到华盛顿东部的冲积平原哥伦比亚高原进行实地考察。那是一片怪异神秘的玄武岩地貌，被切割成柱状和深沟；布雷茨给它取了一个绰号“满是沟渠的劣地”。“这些巨大的伤疤毁掉了一张本该美丽的高原面庞，”他后来写道，“大片裸露地带延展开来，由黑色岩石形成的地垛峡谷纵横交错，杂乱无章……土壤表皮布满巨大伤痕，这些伤痕也许是自然用来保护下层岩石的方法。”这片满目疮痍之地的形成，布雷茨认为，只可能是灾难导致的，最合理的解释是突然而来的洪水泛滥：这次洪水泛滥发生在很久之前，也许是冰川融化导致的，洪水在高原上汹涌而过，撕开一条条河道，并在这个玄武岩平原上凿出一个个大洞。1923年，他发表了两篇论文，提出“满是沟渠的劣地”的形成是由于“从北部

而来的冰川水引发的巨大洪水”，一场“横扫了哥伦比亚高原的大灾难”。[注]

与魏格纳的理论不同的是，这一提议并不是要对整个地球形态的形成做出解释——只是要解释这一小部分区域的形成而已。但这一提议引起的反应同样刺耳。随即，有名望的地质学家开始反驳了。1927年，一次学术会议在华盛顿特区召开。会议几乎全程都在抨击布雷茨的理论。一位与会者指责说，那场“异常的洪水”是过于“鲁莽的假设”。更为合理的假设是，该劣地的形成是由于“反反复复的有序的、漫长持续的侵蚀”，任何河流或瀑布中都可发现这种侵蚀的作用。[注]

这是布雷茨与查尔斯·赖尔的正面交锋。

赖尔提出的重要的地质均变论仍旧在不断地完善成为一条更为灵活的原理，试图将地球有一个开端、地球随时间发生了巨变这些说法纳入其中。但是地质学界仍旧对这种漫长、缓慢变化的说法非常狂热和坚定。突如其来的灾难，哪怕只是局部性的，人们认为此类说法不比古代的彗星和星球碰撞的说法“科学”多少。

但是布雷茨也拒不让步。那片劣地非同寻常的地貌特征意味着对其的解释一定也是非同寻常的。他要反抗学术界的共识，并找到一条非同寻常的解释。

“没有先例的观点总是会遭到否定，”布雷茨于1928年写道，“他们头脑中已经形成了地球有序的概念，当这一概念受到挑战时，他们就会感到非常震惊。”接下来的30年中，他一直在挑战均质论中所说的过去的“有序性”：他测量、记录新数据，不断收集更多的证据。1956年，他发表了一篇有关该劣地的恢宏的研究成果，文章通过对观察**事实**的铺陈，证明该地貌是无法由缓慢渐进的侵蚀形成的。[注]

至此，大多数布雷茨的反对者还从未亲自去该劣地考察过，他们只是从理论上来攻击“异常的洪水”。渐渐地，地质学家们开始亲自来到哥伦比亚高原做实地调查。他们的观察结果证实了布雷茨一直以来坚持的观点：该劣地曾一度遭受过大灾难。德高望重的詹姆斯·吉卢利（James Gilluly，一位备受尊崇的作家，他是当时绝大多数大学中使用的地质学教科书的作者）凝视着深长的玄武岩石柱，摇摇头说道：“还有比我们错得更离谱的吗？”1965年，一批地质学家获得特许后，完成了对该劣地的实地考察，随后他们发了一封电报给布雷茨（时年83岁），表达他们的认可和让步。“我们现在都是，”电报结尾写道，“灾难论者了。”[注]

证据慢慢地累积，最终证明了突如其来的灾变是有可能发生的。新的信息又从另一渠道涌入地球：不断发展的太空计划。1968年，阿波罗8号（Apollo 8）的月球考察发现了大量的陨石坑；古代彗星（和小行星）不止撞击了月球一次，而是反复撞击。这也是突如其来的灾变——进一步证明了各类灾难，尽管长期以来不被地质学的解释所接纳，却真的时有发生。



1968年，28岁的美国地质学家沃尔特·阿尔瓦雷茨在一家位于荷兰的石油公司工作。那时他刚刚拿到普林斯顿大学的博士学位，但实际上，他那时对地质学心存困惑。他的父亲是一位物理学家，曾获得诺贝尔奖；因此，在他看来，物理学似乎是一个更吸引人的领域。物理学试图“读懂上帝的思想”（这是爱因斯坦说的），探讨的是相对论和量子力学。然而，地质学家却在登记岩石，绘制地图，为石油公司工作。

但是，地球科学正在发生变革。它曾经是一门仅仅局限于地球的学科，但如今被“淹没”（阿尔瓦雷茨本人后来如是写道），淹没它的

是“来自众多行星和卫星的数据，数据太多了，多到记都记不住。而大多数的行星和卫星上都有陨石坑”[注]。

1977年，阿尔瓦雷茨在加州大学伯克利分校任教，他利用从太空任务中搜集的新数据，阐释历年来的地图绘制和岩石编目工作。他发现了一个奇怪的现象：他在意大利的一个岩层中发现了异常大量的元素铱，这种元素本不该出现在那里。根据放射性年代测定法，该岩石的年龄大约有6500万年——这是个有趣的数据，因为它代表了所谓的K-T界线[注]，地质学家们一直都在关注这一岩层中化石的中断现象。在K-T界线出现之前，地球上存在大量的恐龙和菊石；而K-T界线出现后，它们都从此“彻底消失了”。[注]

阿尔瓦雷茨向他父亲请教了奇怪的含铱地层的问题，两人有了一个独特的想法。铱更常见于彗星和小行星之中，而不是地层中。也许，这些铱元素是在小行星撞击地球时留下的。如果真的是这样，这次撞击与K-T界线有关吗?

尽管有越来越多的证据证明小行星**的确曾经**与卫星和行星相撞，但在阿尔瓦雷茨看来，这一观点是非常棘手的。“20世纪70年代中期，”阿尔瓦雷茨后来写道，“在地球历史上曾发生过灾难性事件的观点引起了人们的不安。作为主修地质学的学生，我所学的知识告诉我，灾变论是非科学的。我也曾亲眼见证渐变的理论帮助了地质学家理解地球历史。我奉‘地质均变论’为信条，并对地球过去曾发生过灾难性事件的观点绝口不提。但大自然展现给我们的似乎又是另一回事。”在这片劣地进行观察的结果证明地质均变论是错误的。[注]

阿尔瓦雷茨开始在地球上其他地区的K-T界线中寻找含铱地层。他找到了。1980年，他在《科学》（*Science*）杂志上发表了一篇论文［与他的父亲路易斯合著，其他作者还有伯克利的科学家弗兰克·阿萨罗（Frank Asaro）和海伦·米歇尔（Helen Michel）］，论文中提出“异

常出现在K-T界线中的铱元素”也许是一次小行星撞击导致的。另外，这一撞击也可以对化石的非连续性做出解释：

> 一颗大型的撞击了地球的小行星所产生的威力可将质量为其自身60倍的岩石粉碎并炸到大气层中；一部分尘埃将会在平流层中悬浮数年，并飘散到世界各地。尘埃遮挡了阳光，因此会抑制光合作用，对生物体产生的预期影响也与古生物学中记载的物种灭绝相当一致。(注)

该理论遭到了怀疑——但绝不是魏格纳和布雷茨所面对的鄙夷和敌意。已经有太多的证据证明了这种撞击是可能的。不明确的是，这种撞击是否真正**发生过**。

因此20世纪80年代的怀疑论者开始努力寻求证据。因为铱元素的异常存在（阿尔瓦雷茨后来发现了这一点）“明显是真的，且有可能遍布全球；这一撞击假设因此吸引了数百位科学家的注意，他们纷纷放下手头的工作，开始为物种灭绝寻求新的证据”。不仅仅是地质学家，还有古生物学家、化学家、物理学家、气象学家，甚至是统计学家，都开始从不同的角度研究这个问题。接下来的10年，共有2000多篇关于撞击假设的科学论文发表。(注)

阿尔瓦雷茨的工作重心则是寻找撞击陨石坑。最终，在1991年，他持续了数十年之久的搜寻终于结束了。他找到的陨石坑位于尤卡坦（Yucatán）海岸，被数千年的沉积物所覆盖；陨石坑足有**125英里宽**。

该陨石坑的尺寸意味着当初撞击地球的小行星的直径大约有10千米——相当于横跨了旧金山的距离，超过了珠穆朗玛峰的高度。这次撞击应该曾导致地壳汽化，使森林着火，引起大海啸，并将大量岩石碎片炸到大气层中，碎片数量之多足以遮挡太阳光线，还带来有毒的

酸雨。阿尔瓦雷茨断定，撞击改变了地球的面貌——并导致恐龙灭绝。注

但他没有改变整个科学界的观念。以威廉·克雷芒（William Clements）——与阿尔瓦雷茨一同在伯克利分校任教——为代表的一大批德高望重的古生物学家，都提出反对（现在依旧在争辩）；他们认为恐龙种群的灭绝是一个缓慢复杂的过程，而不是由于某一次事件而导致的大规模灭绝。但是，就像大陆漂移学说一样，撞击假设可以简单而有效地解释众多科学领域中的一系列奇怪现象。

而且科学也无法拒绝好的故事。赖尔提出的漫长渐进的地球史并不是一个吸引人的说法，将地质灾变论再度引入也无疑会使得一些奇思妙想（当然还有戏剧性的事件）再次出现在该领域。1997年，阿尔瓦雷茨出版了《雷克斯和末日火山口》，在书中他阐释了自己假说的形成过程。该书很大篇幅都对引导阿尔瓦雷茨及其团队做出最终结论的证据进行了细致准确的阐述，书的第一章题为“世界末日”（Armageddon），是从《指环王》（*The Lord of the Rings*）中援引来的；该书还对撞击时的情况进行了戏剧性的描写。（“整个森林都燃烧起来了，野火覆盖并横扫了整块陆地……森林已经在熊熊燃烧，但是另一个恐怖的事情也正在逼近海岸。”）正如科学作家卡尔·齐默（Carl Zimmer）所说的：“忽然，生物的历史比起任何科幻电影都更加戏剧性了。”注

戏剧性的历史不仅仅局限于地质学领域，地质灾变论使得众多科学领域又重新承认了罕见事件发生的可能性。彗星、小行星、超新星、太阳不正常的闪耀、超级火山——它们首先进入科学世界，随后成为流行文化（最终在该星期的Syfy电影频道中播放）。

“一系列灾难造就了我们的现状，”哈佛天体物理学家罗伯特·科施娜（Robert Kirshner）在2002年这样写道，“形成了我们骨骼和血液的

钙和铁原子也是在星际灾难的熔炉中形成的。”现在一次性的灾难不仅可以出现在地球的历史中，也可能出现在宇宙的历史中了。[注]

沃尔特·阿尔瓦雷茨

《雷克斯和末日火山口》

（1997年）

阿尔瓦雷茨的这本书通俗易懂，启迪智慧，读者可以找到印刷本和数字形式的书。

Walter Alvarez, *T.rex and the Crater of Doom*, Princeton University Press (paperback and e-book, 2008, ISBN 978-0691131030).

沃尔特·阿尔瓦雷茨，《雷克斯和末日火山口》，普林斯顿大学出版社（平装，电子书，2008年，ISBN 978-0691131030）。

1. K-T（白垩纪至第三纪）界线现在通称K-Pg（白垩纪至早第三纪）界线。

2. .Victor R.Baker, “The Spokane Flood Debates: Historical Background and Philosophical Perspective,” in *History of Geomorphology and Quaternary Geology*, ed.R.H.Grapes, D.R.Oldroyd, and A.Grigelis (Geological Society of London, 2008), 33, 36–37.

3. .John Eliot Allen, Marjorie Burns, and Scott Burns, *Cataclysms on the Columbia: The Great Missoula Floods*, 2nd rev.ed.(Ooligan Press, 2009), 56.

4. .Baker, “Spokane Flood Debates,” 47.

5. .Allen, Burns, and Burns, *Cataclysms on the Columbia*, 71–72.

6. .Timothy Ferris, “It Came from Outer Space,” *New York Times*, May 25, 1997, https://www.nytimes.com/books/97/05/25/reviews/970525.25ferrist.html; Walter Alvarez, *T.rex and the Crater of Doom* (Princeton University Press, 2008), 45, 53.

7. .Janine Bourriau, *Understanding Catastrophe: Its Impact on Life on Earth* (Cambridge University Press, 1992), 29.

8. .Alvarez, *T.rex*, 42.

9. .Luis W.Alvarez et al., “Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction,” *Science* 208, no.4448 (June 6, 1980): 1095.

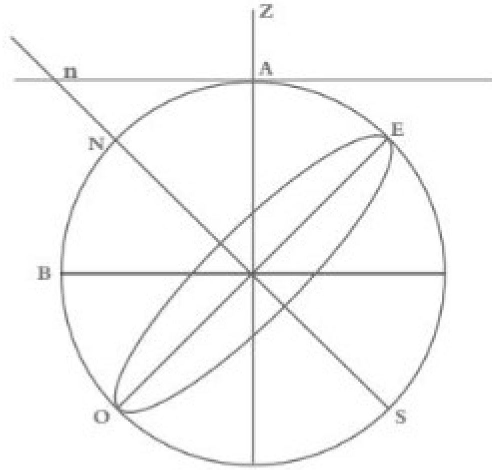
10. .Alvarez, *T.rex*, 81–82.

11. .Ibid., 12–14.

12. .Ibid., ix.

13. .Bourriau, *Understanding Catastrophe*, 5.

# 第四部分
# 阅读生命




---

让-巴蒂斯特·拉马克（Jean-Baptiste Lamarck），《动物哲学》（*Zoological Philosophy*，1809年）

查尔斯·达尔文（Charles Darwin），《物种起源》（*On the Origin of Species*，1859年）

格雷戈·孟德尔（Gregor Mendel），《植物杂交试验》（*Experiments in Plant Hybridisation*，1865年）

朱利安·赫胥黎（Julian Huxley），《进化：现代综合体》

（*Evolution: The Modern Synthesis*，1942年）

詹姆斯·D.沃森（James D.Watson），《双螺旋》（*The Double Helix*，1968年）

理查德·道金斯（Richard Dawkins），《自私的基因》（*The Selfish Gene*，1976年）

E.O.威尔逊（E.O.Wilson），《论人性》（*On Human Nature*，1978年）

史蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould），《人的不可测量》（*The Mismeasure of Man*，1981年）

---

# 19
# 生物学

## 对生物历史进行系统阐释的首次尝试

生物和有机体是……纯粹的自然现象，任何生物或有机体个体的毁灭也是自然现象，必然会一个一个地毁灭。

——让-巴蒂斯特·拉马克（Jean-Baptiste Lamarck），

《动物哲学》（*Zoological Philosophy*，1809年）

1761年夏，孔德·德·布封还在撰写他恢宏的百科全书的最后一卷；詹姆斯·赫顿正在苏格兰高原长途跋涉，考察盐矿和煤坑；主教乌舍尔构想出来的6000年的地球历史仍旧在很大程度上占据主导地位。

法国和英格兰再起战事。

对北美殖民地的争夺激起了两国的宿怨。英国殖民统治者，其中有年轻的乔治·华盛顿，横跨大西洋，与法国及其美国土著盟友展开了一场艰巨的森林战；在欧洲，大不列颠及其最后的主要盟国普鲁士德意志王国正在与法国、西班牙、奥地利和俄国结成的统一战线抗衡。注

17岁的让-巴蒂斯特·莫奈（Jean-Baptiste de Monet）尽管个头儿比他的同龄人矮，但他心中充满了法国人的民族自豪感以及年轻人的那种打不败的精神。他的父亲在他16岁时去世了，并将对他的监护权交给了10个对他漠不关心的哥哥姐姐；当时，在位于威斯特伐利亚

（Westphalia）的德国公爵领地，正与普鲁士作战的法国军队需要援助；于是，让-巴蒂斯特便骑上一匹老马，准备去打仗。他到达前线时，刚好赶上一场攻击附近普鲁士-英国营地的重要战争。

1761年7月15日夜晚，他所带领的那一师浩浩荡荡地穿过条顿堡森林（Teutoburg Forest），准备攻击最近的一支敌翼，却惨遭失败。到了第二天，就有5000多名法国士兵丧生或被俘；让-巴蒂斯特和他的13个同伴是整个团仅有的生还者。(注)

这个被吓坏了的少年后来获得了嘉奖，被升为中尉，但第二年，他与一个同伴进行摔跤比赛时颈部脱臼，使他再次在死亡边缘徘徊。复杂的手术挽救了他的生命；数月之后，他终于康复，但身体非常虚弱，且穷困潦倒。他开始为一位银行家打工，并在空闲时候发展一下自己的新兴趣：一开始是医学，随后是生物研究，最终集中在生命本质的研究上。

他的第一篇研究报告带有爱国主义的色彩，他鉴定了法国所有的植物，这吸引了年长的孔德·德·布封的注意，布封于是举荐了他，为他在皇家花园里谋取了一个职位。接下来的几年里，进行植物学工作时，让-巴蒂斯特·莫奈离自己的兴趣核心越来越近了：生命的定义，死亡的必然，以及二者交错的关系。

他开始称自己为“拉马克爵士”（Chevalier de Lamarck），这一称呼本是属于他最年长的哥哥的。没人知道他什么时候开始自称拉马克爵士，又是为什么要这样做。（据一位19世纪的评论家推论，也许比他年长的所有哥哥姐姐都去世了？）但拉马克和他的理论一起随时间发展、变化。他为自己的重新命名很成功，现在整个世界都知道他了，以拉马克的名字。

在拉马克于1801年出版的第一部非植物学书籍《无脊椎动物的系统》（*Système des animaux sans vertèbres*）中，我们可以发现他思想发

展的线索。该书阐述的动物就是被亚里士多德称为“nonsanguinous”的动物，即无血动物。拉马克敏锐地观察到无血动物是没有脊椎的，因此他发明了现代术语“无脊椎动物”。但《系统》中最具开创性的见解出现在了书的卷尾附录中，题为“论化石”（“On Fossils”）。拉马克写道，化石遗迹是指向标，指出了“地球表面各个地区曾发生过的变革……（以及）生物相继经历的变化”。㊟

在后布封时代，提出地球曾经历变化的观点很难称得上是革命性的了。但是**现存**生物的变化则另当别论。直至此时，大多数博物学家都认为动物和植物较晚才出现在地球上，并且在出现时就基本上是如今的形态了。甚至是最前沿的生物研究，即卡罗勒斯·林奈（Carolus Linnaeus）于1735年出版的《自然系统》（*Systema naturae*），也只探讨了生物现有的特征——而没有探讨它们随时间发生的变化。但拉马克将生命的历史与地球的历史相结合。随着地球变化，地表的生物也在发生变化。

1802年，他出版了《生物学》（*Hydrogéologie*），书中他对上述观点进行了详细的阐述。地球的变化与地球上生物的变化是紧密联系的；尽管如此，它们还是分属于不同的研究领域。他在序言中提到，博物学家应该将他的研究分为三个部分：地球（地质学的新领域）、天空和有生命的实体。他为最后一个领域命名为——**生物学**。㊟从亚里士多德时代开始，人们就对生物分类进行了各种各样的尝试：动物依据动物体特征、习性、饮食，植物依据结构和外观。拉马克心中有个更基本的分类方法：有生命（生物学研究的对象）和无生命。地球上的一切要么是有机体，要么是无机体；要么是有生命的，要么是无生命的。

这一区分首先要对“有生命的”下一个定义，拉马克一直在思考这个定义。他在论文中写道，一个有生命的个体是自然发生的，“其各个部分是有组织的”。此外，其本质上是“有期限的”。任何有生命的个体

都“不可避免地要失去生命，也就是说，要经历死亡”。无机体是永生的，生物则无一例外地要经受死亡。(注)

五年的研究与报告撰写完之后，拉马克于1809年出版了自己的杰作——《动物哲学》（*Philosophie zoologique*），一部生命的自然史。拉马克写道：

> 我们可将生命的基本组成部分归于下列定义中：生命……是一种秩序和状态，它带来了有机活动；这些活动……是由一些刺激造成的，这些刺激促使了活动的发生……生物体……众所周知，有觅食、发展、繁殖的能力，并且它们注定要死亡。(注)

换句话说，一切生物体的活动都根源于内部。它们也通过改变来对外界刺激做出反应。此外，也许是最重要的，它们都会死亡。

因此，**生物学**研究（从构词法上讲，*biology*意为关于即所有的生物的研究）就不能忽视开始和终结——这与地质学不同。活动是变化，生是变化，死也是变化。但是生物学家不能只是简单地描述，他必须要解释变化的出现和目的。

拉马克提出了变化的三原则：

第一，“用进废退原则”，这一原则将衰败和死亡都纳入了生命的前进运动中。回到这个观点，即地球的历史与生命的历史是彼此交错的，拉马克总结说，生物的改变是对地球变化的反应。

> 不断地使用某器官会促进该器官的发展，使其强大，甚至增大；但是，长期不使用某一器官，则会阻碍该器官的发展，使其退化；如果连续几代都不使用该器官，那么该器官最终会消失。因此，我们可以推断，当环境的变化导致某些动物种群的习性发生变

化时，动物不常用到的器官就会逐渐地消失，而常用的则会日益发达起来，其力量和大小与使用频率成正比。(注)

环境中的小变化就会导致生命发生小变化，“环境中巨大且永久的改变……则会带来新习性”，新习性随着时间又会产生巨大的变化。

第二，这些变化的发生经历了一段相当长的时期，并且自然是其唯一的原动力。20年前，拉马克和赫顿一样，认为古代的大洪水和彗星都是不可能发生的。“当常见的自然进程已经足以解释我们所观察到的一切事实时，”他写道，“我们为什么要假设……一场宇宙范围的灾难？”

关于生物……自然已经一点一点、连续不断地做了一切……自然的工作中没有一项是仓促完成的，而是……她的作用总是缓慢的、有连续的几个阶段……根本就没有必要去想象一场席卷宇宙的大灾难一举推翻了一切，并毁坏了自然绝大部分的工作。

一个“至上的作者”一定已经在最初把一切都设定好了，他肯定了这一说法，但他坚称设计了自然的“无限的力量”在引起改变的时候并没有让神灵介入其中。“自然本身，”他写道，“创造了有机体、生命甚至是感觉……大自然拥有创造自我的绝对力量和能力。”(注)

最后，所有的变化都有一个特定的方向——从简单到复杂，从少到多，从低等到高等。很久之前，生命开始于水中，它非常简单，然后开始进化：

水是整个动物王国的摇篮……只有在水中或在非常潮湿的地方，才能自然产生……最直接的、自发的生物，这些生物继而衍生出了结构最简单的微生物，所有的动物都是依次从微生物中衍生来

> 的……经过漫长连续的几代之后，起初属于同一物种的生物最终彻底转变成了新的物种，与最初截然不同的物种。

这一转变将简单的、“不完美”的生物变成了“最完美的……拥有了最复杂的组织的生物”。丧失、死亡和衰败都有一个共同的目的：自然的道路最终要引向完美。注

这是一个伟大的理论，但是拉马克被迫在传统的内部连贯性基础上证明该理论。他的提议并不能通过实验来证明；他所能做的最有效的工作，就是将自己的观察结果呈现出来，即现存生物明显都很好地适应了早期的环境，以及地球在漫长的时间中发生过巨变的事实。显然，合乎逻辑的结论便是，生物也在漫长的时间中发生了巨变。

这一提议的最大缺点在于缺乏一个机制。这些变化是如何一代一代传下来的？拉马克不知道这个问题的答案（其他人也不知道），因此，他不得不依靠模糊的柏拉图式语言，即自然的“意志”产生了变化。“这可以愉悦一位诗人，满足他的想象。”乔治·居维叶鄙夷地说道。他认为“用进废退原则”是非常滑稽的。注

机制的缺失最终使该理论走向失败；反对声高过了支持声，鄙夷淹没了接受。在法国科学家中，拉马克的位置从未排在前面过，《动物哲学》所招致的不好的反响也让他日益感到苦涩、失望。他坚持捍卫自己的理论，但由于少年受伤，他的身体更加虚弱了；他视力下降，很快便无法出门，他的思想也日益局限在了自己的失败上。他从未富有过，他自己的积蓄也荡然无存。他的妻子去世了。他的一个儿子生而失聪且有心理障碍，他被迫将另一个儿子也送进疯人院。提出富有开拓性的理论20年后，他去世了。他的存活下来的两个女儿因为太穷而无法体面地下葬他；她们随便挖了个坑，将他的遗体放在里面，这里每五年都会将所有的遗体清理掉，最终只有一堆堆放在地下墓室中的白骨。今天，我们已经无从知晓他最后的葬身之所。

对于他的那个时代来说，他过于超前了，他的理论也过于伟大，而他本人也对具体的证据过于轻视了。但他为后来的生物学家提供了一个模式、一个轮廓，后来每一位博物学家都可以以此为基础：这是对生命历史的首次条理清晰的描述。50年后，著名生物学家恩斯特·海克尔（Ernst Haeckel）——查尔斯·达尔文的支持者和宣传者，一位畅销书作家——终于为让-巴蒂斯特·拉马克作了一首挽歌。“他所拥有的荣耀将永生，”海克尔断定，“这种荣耀源自他首次提出了遗传理论，这是一条最独立的科学理论，也是整个生物科学的哲学基石。”注

阅读《动物哲学》相关节选，

登录http://susanwisebauer.com/story-of-science

让-巴蒂斯特·拉马克

《动物哲学》

（1809年）

拉马克的行文非常清晰，但啰唆冗长；《动物哲学》一书的篇幅原本只需要是现在的五分之一就足够了。阅读本书的序言、“初步探讨”、第1—4章、第7章的第一部分，尤其是第1章和第2章的第二部分，你可以了解他的基本论点。

休米·埃利奥特（Hugh Elliot）1914年的译本仍旧是标准的译本。这本书很容易找到，有电子版，也有福高腾图书出版的平装再版本（根据电子书印刷）。

Jean-Baptiste Lamarck, *Zoological Philosophy: An Exposition with Regard to the Natural History of Animals*, trans.Hugh Elliot, Macmillan (e-book, 1914; paperback reprint by Forgotten Books, 2012; no ISBN).

让-巴蒂斯特·拉马克，《动物哲学——对动物的自然历史的阐释》，译者休米·埃利奥特，麦克米兰出版公司（电子书，1914年；由福高腾图书出版的平装再版本，2012年，无ISBN）。

1. 这两次大陆战争有至少两种命名：欧洲的战争一般来说被称为“七年战争”，而在北美发生的则通常被称为“法印战争”或“征服战争”。
2. .John Cassell, *Cassell's History of England* (Cassell, Petter, Galpin, 1884), 5: 9; Georges Cuvier, “Biographical Memoir of M.de Lamarck,” *Edinburgh New Philosophical Journal* 20 (October 1835–April 1836): 8.
3. .Martin J.S.Rudwick, *Bursting the Limits of Time: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution* (University of Chicago Press, 2005), 390.
4. .M.J.S.Hodge, “Lamarck's Science of Living Bodies,” *British Journal for the History of Science* 5, no.4 (December 1971): 325.
5. .André Klarsfeld and Frédéric Revah, *The Biology of Death: Origins of Mortality*, trans.Lydia Brady (Cornell University Press, 2004), 7.
6. .J.B.Lamarck, *Zoological Philosophy: An Exposition with Regard to the Natural History of Animals*, trans.Hugh Elliot (Macmillan, 1914), 51, 202.
7. .Ibid., 2.
8. .Ibid., 12, 41, 46.
9. .Ibid., 38–39, 60, 175–76; Ernst Mayr, “Lamarck Revisited,” *Journal of the History of Biology* 5, no.1 (Spring 1972): 60–61.
10. .Robert J.Richards, *Darwin and the Emergence of Evolutionary Theories of Mind and Behavior* (University of Chicago Press, 1987), 63.
11. .A.S.Packard, *Lamarck, the Founder of Evolution: His Life and Work* (Longmans, Green, 1901), 56–58, 70.

# 20
# 自然选择

## 首次从自然的角度对物种起源做出解释

> 物种曾发生过变化，并且现在仍在发生缓慢的变化，通过不断保留和积累对自身有利的一系列细微变异。
>
> ——查尔斯·达尔文（Charles Darwin），
>
> 《物种起源》（*On the Origin of Species*，1859年）

《动物哲学》尽管影响广泛，无所不包，但遗留下了一个重大的问题没有解决。

拉马克曾写道："所有其他的动物都逐次从组织最简单的微生物中衍生出来。"但这是如何发生的？地球上所有的物种都是从一种物种中衍生出来的吗？如果是这样，是什么促使它们彼此分化，相互区别的呢？那么，物种**又是**什么呢？

这并不是个简单的问题。比起生命的分支，拉马克对生命本身更感兴趣；他用一个定义回避了这个问题。（"物种是一个由彼此相似的个体组成的群体，其中任一个体都是由相似的其他个体产生的。"）在这一点上，他和与他同时代人的观点是一致的。自亚里士多德开始，尚没有一位博物学家能够给**物种**下一个令人满意的定义——或对不同物种是怎样出现的做出合乎逻辑的解释。(注)

亚里士多德对动物进行了归类，依据的是几个不同的标准——结构、饮食以及（最重要的）习性。不同的“物种”已经适应了各自不同的生存方式，这是他区分“物种”的方法。因此，他的分类法非常复杂且不同类别之间相互重叠：水生的与非水生的，有足的与无足的，固定不动的与可以自由移动的，有血的与无血的。注

中世纪时期对生物的分类方法延续了亚里士多德的模式，依照结构、外观、习性或三者共同来对植物和动物进行分类。9世纪时，艾布·阿-迪奈瓦里（Abu al-Dinawari）在《植物学手册》（*Book of Plants*）中写道：

> 我将植物分成了三组：第一组中根和茎都熬过了冬天；第二组中茎在冬天中死去，但根存活了下来，于是植物重新开始从这存活下来的根茎开始生长；第三组中根和茎都在冬天冻死了，新的植物从分散在土壤中的种子里生长出来。植物也可以通过另一种分类分为三种：一些植物向上生长不需要茎；一些植物向上生长的过程中需要一个攀爬的物体；第三组植物则不会从土里向上生长，而是贴着地表蔓生，完全覆盖地表。注

700年后，英国博物学家托马斯·墨菲特（Thomas Moufet）仍旧沿用了这一不精确的方法对昆虫进行“分类”。“一些昆虫是绿色的，一些是黑色的，一些是蓝色的；”他在《昆虫戏剧》（*Theatrum insectorum*）中写道，“一些飞虫有一对翅膀，还有一些有许多对翅膀；没有翅膀的昆虫会跳跃，那些既不能飞也不能跳的昆虫就爬行；有些昆虫的腿较长，有些则较短；有些昆虫会鸣叫，有些则是哑巴。”注

但16世纪过去，17世纪到来之后，探险家们的足迹涉及了越来越远的未知土地；殖民者们开垦未知的土地，在未知的森林中猎杀不知名的动物；而那一小部分已经为人所知的动物、植物和昆虫的种类则

爆炸式地大量增多。需要一种更好的分类法——以及一个更加可靠的系统以对所有的有机体进行划分。

1735年，卡罗勒斯·林奈的《自然系统》一书对生物分类做出了第一次真正的科学尝试。《自然系统》第一版出版后，这位瑞典医师、植物学家林奈用了30年的时间修订这本书，并在去世前不久出版了该书第12次修订版。他遵循了中世纪的传统，进行了植物、动物和矿物（这一分支至今被我们应用于游戏“二十个问题”中）的分类。但与中世纪做法的区别在于，他的分类法更加精确严谨：基于其形态（外形或形状），每一种生物都被归于一属、一目和一纲。

《自然系统》的精确度是前所未有的，但是，其最基本的假设仍旧与亚里士多德、与其他所有曾试图进行生物分类的博物学家的基本假设一致：物种是不同的。

亚里士多德认为，它们本质上就是不同的。中世纪的思想家们认同这一点。希波的奥古斯丁（Augustine of Hippo）认为，一类物种是“*similia atque ad unam originem pertinentia*”，即“相似且有同一个起源”，每一个个体独立产生，即与其他个体分离。林奈认为，物种是不变的，他写道：“我们认为一开始就产生了如今这些不同的物种。”甚至是拉马克，他的观点是简单的微生物发展成了更复杂的生物，他认为存在着**大量的**简单微生物，每一种都是自然产生出来的，随后发展成为更复杂的形态。(注)

物种并不是从彼此之中发展起来的。恩斯特·迈（Ernst Mayr）认为，物种是固定的、永久不变的，且不同物种间没有联系。林奈精确的分类法无疑进一步强化了这一观点。

※

林奈去世三年以后，查尔斯·达尔文就在英格兰的什罗普郡（Shropshire）出生了。他的父亲是当地一位有钱的医生，达尔文在家中排行老五。1809年，患有间歇性精神失常的乔治三世统治了英国；让-巴蒂斯特·拉马克刚刚出版了《动物哲学》；詹姆斯·赫顿的均质论正在主教乌舍尔所提出的年轻地球上逐渐风靡；乔治·居维叶则正努力地研究自己的灾变论。

“我生来就是一位博物学家。”达尔文后来说道。他的童年都用在了采集动植物标本、捕鱼、追踪并阅读博物学书籍上。但他的父亲起初将他送到了爱丁堡大学学医，后来又将他送入剑桥大学，希望能将他培养成为一位牧师。但他对这些都不感兴趣。（“我的时间都被浪费了，”他写道，“我……厌恶那些课堂。”）更多的时间他都用在了骑马或观察鸟上，而不是读书和学习希腊文。他回忆道：“在剑桥大学的任何活动带给我的快乐都不能与收集甲虫相比。”注

1831年，达尔文毕业了，他拥有一个体面的学位和对自然界的百科全书式的知识，但仍旧对医学或神学丝毫不感兴趣。几位剑桥大学的教授对他的课外研究印象深刻。其中一位教授，植物学家约翰·亨斯洛（John Henslow），向他的朋友，海军军官罗伯特·菲茨罗伊（Robert Fitzroy），推荐了达尔文，认为达尔文是菲茨罗伊即将开展的考察的得力助手——这是一次为期两年的航海之旅，将对南美海岸进行一次彻底的地质调查。

达尔文毫不犹豫地接受了。菲茨罗伊的舰队小猎犬号（HMS Beagle）原计划于圣诞节出发，但因船员都喝醉了而不得不延迟。达尔文在1831年12月26日的日记中写道：“今天是个好天气，非常适合航海——此前因为几乎所有的船员都喝醉了，我们失去了一次出发的机会。”12月27日，小猎犬号终于从普利茅斯海湾（Plymouth Sound）启程了。注

原计划两年的航海延长到了五年，小猎犬号从南美洲海岸航行至加拉帕戈斯群岛（Galápagos Islands），随后又到了塔希提岛（Tahiti）和澳大利亚，环绕世界后才回程。基于自己的观察，达尔文做了大量的笔记。笔记中多次记述了他对**物种**问题的艰难求索。

首先，“物种”这一概念的定义尚不明确。“尚没有一个定义能让所有博物学家感到满意。”25年后，达尔文写道，“尽管每当提到物种时，每一位博物学家都模模糊糊地明白他在说什么。”物种的稳定性和持久性（不论何物种）似乎需要神灵的多次创造之举。那么，为什么欧洲地面上的甲虫、阿尔卑斯山洞穴中的甲虫和美国洞穴中的鱼类都没有视力呢？这些物种是被单独创造出来吗？创造出来时就没有视力吗？芜菁、芜菁甘蓝以及各种葫芦科植物都有粗大的茎，这应该被归因于“三种彼此独立却又紧密相连的创造”吗？又或者，它们并不是彼此独立的物种，只是同一物种的不同类别而已？如果是这样的话，那么现存所有的对**物种**的定义都是极其不完善的了。(注)

而在达尔文看到种类如此庞杂的物种之后，他的这些问题更是令他疑惑不解。加拉帕戈斯的每个岛屿上都生存着该岛屿特有的一种嘲鸫；各种嘲鸫之间不会杂交繁殖，并且差异甚大，因此也许每一种都可被视为一个物种；但是，它们在本质上还是相似的。那么该怎么对它们进行分类呢？该如何解释它们的区别，以及（更重要的）它们的相似呢？

“当我刚刚登上小猎犬号时，”查尔斯·达尔文后来写道，“我相信物种是永恒不变的；但是，我记得脑海中不时闪现出对这一观点的模模糊糊的怀疑。1836年秋天，一回到家，我就立即开始准备出版自己的日志。［他的日志于1839年出版，题为‘纪录与评论’（*Journal and Remarks*），我们通常称为《小猎犬号航行之旅》（*The Voyage of the Beagle*）。］我看到的众多事实都表明了物种普遍存在的遗传现象，

因此自1837年7月，我开始在笔记本上记录任何与此相关的事实；但两三年后，我才相信物种是会发生突变的。”注

这本笔记本只是一个开头，后来他还记了很多本，每一本中都充满了**问题**。在1837年7月到1838年2月的笔记上，达尔文这样写道：

> 整个国土中的物种都是固定不变的吗?
>
> 每一种动物都有变化的趋势——这很难证明……
>
> 找不到答案，既是因为时间不够，也是由于至今也没有巨大的变化发生。
>
> 变化的原因是未知的……
>
> 每个物种都会变化。那物种的变化是前进的吗?
>
> 变化并不是由动物的意志产生的，而是由适应法则决定的。
>
> 物种的死亡并不比其个体的死亡更奇怪。
>
> 人类很难不偏向自己。注

苦苦思索物种问题的同时，达尔文也在阅读其他自然哲学家的作品：他借用一些原理，批判另一些。达尔文乘着小猎犬号出发时，查尔斯·赖尔的《地质学原理》刚刚出版。“我带着这本书的第一卷……并仔细地研读，”达尔文写道，“这本书在许多方面都为我提供了很大的帮助。”他认为赖尔所说的漫长且缓慢的变化哲学非常具有说服力，并纳为己用。（“Natura non facit saltum.”他如是写道——“自然不会突然改变。”）但他反对赖尔所提出的变化没有特定向前发展的说法。达尔文阅读了拉马克的《动物哲学》，他赞扬拉马克的观点，即适应使物种向更复杂、更完美的形态发展——但他也在笔记边角处写下了对“用进废退原则”的激烈批判。“这很荒谬，”他潦草地写道，“他居然

假设习性的缺失导致了动物器官的消失，且后者又会同样作用于前者。”

1838年秋天，他开始阅读托马斯·马尔萨斯（Thomas Malthus）《人口学原理》（*Essay on the Principle of Population*）的最新版本。马尔萨斯是东印度公司的管理人才培训学院的历史和政治经济学教授。1798年，他首次出版了《人口学原理》，并一直在完善该书。马尔萨斯指出，人类的未来是由两个因素决定的：

第一，食物是人类生存必不可少的。

第二，两性之间的感情也是必需的，未来将基本上维持现状。

换句话说，人类固有一种繁殖的欲望，这就意味着人口将不断增加。但是，因为食物供给的增加速度比不上人口增加的速度，一大批人出生后会饿死：“维生的艰难”导致了“人口数量受到强烈的、持续的抑制”。

在马尔萨斯看来，这意味着永远不会有一个能让其中所有成员都过得“舒适、幸福且相对安逸”的理想社会，**总有**一部人会遭受贫穷和饥饿。但是，达尔文立即又被另一种观点吸引住了。“这观点一下子就吸引住了我，”他后来写道，“在这种情况下，有利的变异将会被保留，而不利的则会被消灭。其结果就是新物种的形成。”

达尔文相信，自己已经找到了解答物种问题的钥匙。反复思考一段时间后，1842年7月，他开始将这一观点付诸笔头。到1844年，他完成了第一稿，也就是后来的《物种起源》（*On the Origin of Species*）；几年后，他又加入了一些新的观点，即这些变化是随着生物对“自然系统”——生物的周边环境——的适应而产生的。

但他尚未准备好将《物种起源》出版，他仍在不断地修改，1858年，他收到了英国探险家阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士的来信。华莱士比达尔文小14岁，他非常欣赏达尔文的《纪录与评论》。他效仿达尔文，到国外进行实地考察——他先去了亚马孙热带雨林，又去了东印度群岛。他整理了自己对成千上万种物种的观察，并得出了一个与众不同的结论：物种在发生变化，它们变得不同，它们不断**进化**，囿于环境带来的压力。

在印度尼西亚，华莱士曾因反复高烧被迫每天卧床数小时。“除了思考，我什么都做不了。”他后来写道，有一天

> 我忽然记起了马尔萨斯的《人口学原理》，我12年前读过这本书。我想起了他清晰阐述的“积极地抑制增长”——疾病、意外、战争和饥荒——这些使得野蛮种族的平均人口数量低于文明种族。我忽然想到，这些因素或类似的事情也在动物界正不断地发生……由此引发了我对巨大的、连续发生的灾难的模糊思考；我忽然想到了一个问题，为什么一些死了，而另一些活了下来呢？答案很明确，就是适者生存。疾病侵袭后，最健康地活了下来；敌人攻击后，最强壮、最快速或最机智的活了下来；饥荒发生后，最善于猎食或消化能力最强大的活了下来；等等。我忽然想到，这自动运作的过程必然会提高物种的质量，因为每一代中的弱势群体都会不可避免地被毁灭，强者会留下来——这就是，适者生存。(注)

华莱士赶忙将这一见解匆匆写成一篇文章，题为“论变种无限离开原始型的倾向”（“On the Tendency of Varieties to Depart Indefinitely from the Original Type”），他将这篇文章随信寄给了达尔文，请他将文章转交给查尔斯·赖尔或其他可能对此感兴趣的自然哲学家。

达尔文读后瞠目结舌。“这篇文章，”他喊道，“所提到的理论和我的一模一样。”应华莱士的请求，他将文章交给了赖尔。（“我从未见

过此等惊人的巧合，”他在附信中写道，“……我所有的原创构思，不论有多重要，都毁于一旦。”）一同交给赖尔的，还有他正在撰写的论文的简短摘要。(注)

赖尔及其同事、皇家植物园园长约瑟夫·胡克（Joseph Hooker）以及达尔文的一位朋友将两人的研究成果递交给了伦敦林奈学会（the Linnean Society of London）——一个已经存在了一个世纪之久的探讨自然历史的组织；1858年8月，华莱士和达尔文的理论被同时发表在了林奈学会印刷出版的会议公报上。

这是对自然选择进化论的首次阐述。这是博物学的分水岭，但明显没有人注意到。林奈学会的主席曾在1858年度报告中说过这样一句有名的话：“今年……真的没有什么特别，因为没有出现任何可以一举带来科学界革命的惊人的发现。”(注)

第二年，与华莱士一同发现了自然选择原理的达尔文在此巧合的激励下，终于出版了自己的整篇论文。第一版——《论借助自然选择（即在生存斗争中保存优良族）的方法的物种起源》（*On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*）阐述了他的一系列论点，所有论点都支撑达尔文的主要结论：生命，乃至整个地球，都在不断地变化，并且**仅仅**是自然原因导致了变化。他找到了令自己满意的物种问题的答案：物种**并非**永恒的、固定的**或**彼此孤立的。当**旧**物种开始变异的时候，新物种就出现了；这些变异经证明曾帮助物种在生存斗争中处于有利地位。

《物种起源》很快卖光了。这本书引起了广泛的讨论，其中有批评，有赞扬，也有不屑。“出现了不计其数的书评，”达尔文后来说道，“我曾经把所有的书评收集起来……但过了一阵子，我就绝望地放弃了。”1864年，著名的生物学家兼哲学家赫伯特·斯宾塞（Herbert

Spencer）用“适者生存”这一成语来概括达尔文的理论，而这一成语很快就与达尔文的研究紧密相连、密不可分了。

随后20年里，达尔文5次修订了《物种起源》。即便是在最后一次修订本中，他也没有在逻辑上对该理论进行总结；但他私下里已经做出了结论，认为他的自然选择原理同样适用于人类。“当我……坚信物种是可变的，”后来他在《自传》（*Autobiography*）中写道，“我就没法不相信人类一定也遵循了相同的法则。”[注] 1871年，他出版了《人类起源》（*The Descent of Man*），这部书将他的进化原理延伸到了人类。

《人类起源》将《物种起源》中所暗示的意义阐述得清清楚楚。

人类一直以来都认为自己是最独特的，而查尔斯·达尔文的生物学观点与这种观点发生了碰撞。“达尔文先生提出的关于物种起源的问题，”一位评论家写道，“这个问题的出现标志着神学思维与科学思维的碰撞……这本书使我们直面难题，而此前这些难题只是模糊地出现在我们的视野中。”[注]

现在，这些难题就在眼前——一直会在。

查尔斯·达尔文

《物种起源》

（1859年）

《物种起源》一书有许多版本可供选择。根据读书笔记，1859年的原本是最清晰、最简明、最容易为广大读者接受的版本。1859年的文本中，有许多版本也添加了达尔文在第三版（1861）中附加的文章《关于物种起源观点的进步的历史概述》（“Historical Sketch of the Progress of Opinion on the Origin of Species”），其中他对从赖尔、拉马

克等人那里获取的知识上的帮助表示感谢；这篇文章不长，值得花时间读一读。

除了下面推荐的版本，还有许多可供选择；下列版本既含有1859年的文本，也有《历史概述》部分。

Charles Darwin, *The Origin of Species*, Wordsworth Editions (paperback and e-book, 1998, ISBN 978-1853267802).

查尔斯·达尔文，《物种起源》，华兹华斯出版社（平装，电子书，1998年，ISBN 978-1853267802）。


1. .J.B.Lamarck, *Zoological Philosophy: An Exposition with Regard to the Natural History of Animals*, trans.Hugh Elliot (Macmillan, 1914), 35, 176.

2. .Richard A.Richards, *The Species Problem: A Philosophical Analysis* (Cambridge University Press, 2010), 31; Aristotle, *The History of Animals*, trans.Richard Cresswell (Henry G.Bohn, 1862), I.1, sec.6–8.

3. .Monroe W.Strickberger, *Evolution*, 3rd ed.(Jones & Bartlett, 2000), 9.

4. .Ibid.

5. .Ernst Mayr, *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance* (Harvard University Press, 1982), 257–58.

6. .Ibid., 394–96; Charles Darwin, *Charles Darwin: His Life Told in an Autobiographical Chapter, and in a Selected Series of His Published Letters*, ed.Francis Darwin (John Murray, 1908), 20.

7. .Charles Darwin, *Charles Darwin's Beagle Diary*, ed.R.D.Keynes (Cambridge University Press, 2001), 16.

8. .Charles Darwin, *The Origin of Species* (Wordsworth Classics, 1998), 36; Mayr, *Growth of Biological Thought*, 265–66.

9. .Frank N.Egerton III, "Darwin's Early Reading of Lamarck," *Isis* 67, no.3 (September 1976): 453.

10. .C.R.Darwin, *Notebook B:* [*Transmutation of Species (1837–1838)*] *CULDAR121* (transcribed by Kees Rookmaaker), Darwin Online, http://darwin-online.org.uk, accessed May 2014.

11. .Darwin, *His Life Told*, 52; Darwin, *Origin of Species*, 186; Charles Darwin, *On Evolution: The Development of the Theory of Natural Selection*, ed.Thomas F.Glick and David Kohn (Hackett, 1996), 83.

12. .T.R.Malthus, *Population: The First Essay* (University of Michigan Press, 1959), 4, 6.

13. .Darwin, *His Life Told*, 82.

14. .Alfred Russel Wallace, *Infinite Tropics: An Alfred Russel Wallace Anthology*, ed.Andrew Berry (Verso, 2002), 51.

15. .Darwin, *His Life Told*, 82 ; Mayr, *Growth of Biological Thought*, 423.

16. .Mayr, *Growth of Biological Thought*, 423–24.

17. .Darwin, *His Life Told*, 42, 46.

18. .Untitled column, *Annual Register of World Events: A Review of the Year* 113 (1872): 368.

# 21
# 遗传性特征

## 遗传法则和遗传机制浮出水面

这个过程将使*A*物种变成*B*物种。

——格雷戈·孟德尔（Gregor Mendel），

《植物杂交试验》（*Experiments in Plant Hybridisation*，1865年）

尽管查尔斯·达尔文坚信变异是由亲代传给子代的，但是他不知道这一过程是如何进行的。“遗传法则仍旧未知，”他在《物种起源》第二章中遗憾地写道，“没人能说清楚为什么某种特性……有时会被遗传，有时则不会。”注

19世纪最广为接受的遗传模型“融合遗传”（blending），给自然选择带来了许多问题。根据这一模型，亲代双方的特征都会以某种方式遗传给它们的后代，双方特征融合在一起创造出一个完美的中间物：一匹黑色的牡马与一匹白色的牝马结合会生出一匹灰色的马驹；身高6英尺的父亲与身高5英尺的母亲生出的孩子成年后的身高应该是5英尺零6英寸。但是，“融合遗传”有两个问题：第一，这一模型（常常）被证明与事实不符。第二，这一模型抹掉了变异，而非保留变异。

《物种起源》首次出版的9年后，达尔文提出可以通过被称为“胚芽”的“微小粒子”来对遗传性特征做出解释。胚芽从有机体的各组织中分裂出来，积聚在性器官中，并被传给下一代。对这一理论最有力的

论证非常简单，就是他想不出更好的解释了。“这是一条非常轻率、非常粗糙的假设，”他在给朋友T.H.赫胥黎（T.H.Huxley）的信中写道，“但是它使我感到非常宽慰，有赖于这一假设，我可以解释众多事实。”(注)

他未能给出更好的解释，尽管揭开真相的钥匙真的就在他手中。

1882年，达尔文去世了，但他的书屋中还有一份未开封的用德文写成的论文复印件。这篇论文的作者是奥地利植物学家（奥古斯丁修会的修士）格雷戈·孟德尔（Gregor Mendel）。1865年，孟德尔将这篇论文交给了当地的自然历史协会。论文说明了孟德尔9年的杂交实验；他试图对34个品种的甜豌豆进行杂交，从而产生新的品种；尽管他失败了，他却发现了一系列定律，这些定律似乎控制了甜豌豆的性状（种子的形状和颜色、荚的形状和颜色、开花的位置以及茎的长度）的遗传。(注)

孟德尔指出，这些定律的作用“极有规律”。豌豆的一些性状**总是**能够遗传给子代，“完全或基本上没有变化”；他称这些性状为“显性”性状。其他的性状似乎有时在子代中消失不见，有时又连续几代不变地遗传下来；这些潜伏的性状，孟德尔将其命名为“隐性”（性状）。

孟德尔呕心沥血地进行甜豌豆异花受粉实验，培育出一代又一代的甜豌豆后，孟德尔得出了一系列的定理，揭示出显性和隐性性状的遗传机制。显然，性状是通过亲本豌豆的卵子和花粉细胞遗传给子代的，因此（孟德尔提出）这些细胞中一定含有分离的单元或**元素**，每一种元素中携带有一种性状。“两株植物的区别性性状，”他断言，“最终……只能是由花粉细胞中元素的组成和组合方式的不同决定的。”对这些元素的适当操纵就能够改变下一代的性状——并最终甚至可以使一物种变成另一物种。

> 如果要将*A*物种转变为*B*物种，必须让两类物种发生受精，受精产生的杂交体再与*B*物种发生受精；在众多可能产生的后代中，将与*B*物种最为接近的选择出来，再用*B*物种的花粉对其受精，如此一直进行下去，直到产生一种与*B*物种相同的物种，且其子代也始终与*B*物种相同。这个过程可以使*A*物种转变为*B*物种。[注]

这就解答了达尔文的棘手问题：使某种变异一代一代传下去并最终将一物种变成另一物种的机制是什么。

但是一系列事件阻止孟德尔继续深入地研究。首先，他是一位修士而非一位科学家，因此，他并没有努力争取让自己的论文得到翻译和传播；基本上，只有在1865年不辞辛苦地去听他宣读自己研究成果的那40个人才知道他的研究。有一位著名的科学家非常关注孟德尔的研究，他就是瑞士植物学家卡尔·威廉·冯·内格里（Karl Wilhelm von Nägeli）。他是融合遗传的铁杆支持者，他对孟德尔的实验结果进行了尖锐的批评。内格里坚持要求孟德尔用山柳菊来重新进行所有实验，但不幸的是这次尝试是失败的，因为山柳菊要长出种子是不需要受粉的（这就意味着最终得到的种子没有一颗是杂交的）。1868年，孟德尔所在的修道院选举他为终身制修院院长；这不仅让他停止实验，还让他卷入了一场与奥地利政府之间旷日持久的复杂官司。这场官司的纠纷在于修道院应纳税款。

但是，孟德尔依旧以博物学家自居；他继续利用花、果树和蜜蜂进行繁殖和杂交实验，在接下来的10年中，他又因气象观测和相关理论而闻名。“科学研究带给我极大的满足感，”1883年，也就是他去世的前一年，他对一位同事说道，“并且，我相信，我的研究的成功很快就会得到整个世界的认可。”[注]

他所指的也许不是甜豌豆实验，他的心思不在这个实验上；但世界记住的恰恰是他的甜豌豆实验。



孟德尔的论文发表一年后，德国生物学家恩斯特·海克尔提出控制遗传性特征的也许是深藏于细胞核内部的某种物质。但他既无仪器也无数据来证明他的理论。但是，20年后，德国人瓦尔特·弗莱明（Walther Flemming）利用改进了的显微镜以及提升后的染色技术观察开始分裂（有丝分裂）的细胞中细微的线状结构。弗莱明的同事威廉·瓦尔德（Wilhelm Waldeyer）提议将这些线状结构命名为染色体（*chromosomes*，“chroma”意为“颜色”，“soma”意为“个体”），这一命名直接指出了它们吸收染色剂的能力。[注]

甜豌豆实验再次浮出水面。

1900年5月8日，植物学家威廉·贝特森（William Bateson）赶往英国皇家园艺学会，他要针对遗传方面所遇到的困难发表讲话。他带了一沓研究论文在火车上阅读，其中有孟德尔用德文写成的论文。巧合的是，贝特森拿到的第一篇论文就是孟德尔的；刚读了一半，贝特森就意识到孟德尔的定律就是解答遗传性特征问题的钥匙。（也许他之前就读过这篇论文了，但是他后来总是会对人提起这个发生在火车上的故事——也许是因为后者更富戏剧性。）

巧合的是，另外两位研究者最近也阅读了孟德尔的研究：一位是一直在进行杂交实验的荷兰植物学家雨果·德·弗里斯（Hugo de Vries），另一位是内格里的一个学生，卡尔·柯伦斯（Carl Correns）。那一年里，三个人都发表了研究遗传问题的论文，并且在论文中都引用了孟德尔的遗传性性状的“定律”。1901年，皇家园艺学会出资将孟德尔的德文研究成果首次译成英文，这就把孟德尔的“定律”完全呈现在了大众眼前。[注]

此刻唯一剩下要做的就是将染色体与该定律联系起来。

1902年，德国生物学家特奥多尔·博韦里（Theodor Boveri）进行了一系列实验，实验证明海胆胚胎要正常发育，一定要有36条染色体——这有力地证明了每一条染色体都带有一段独特且必需的信息。与此同时，就读于哥伦比亚大学的美国大学生沃尔特·萨顿（Walter Sutton）从自己的蚱蜢实验中总结出，染色体携带着“特定一组性状的物质基础”。将遗传信息传到下一代的载体并不是达尔文的胚芽，也不是孟德尔的称为“基因”的元素。(注)

威廉·贝特森率先将这一关于染色体及其与遗传特性的关系的研究称为“遗传学”，而与他共同创造了“遗传学”（genetics）这一术语的，还有丹麦植物学家威廉·约翰森（Wilhelm Johannsen），约翰森将“基因”（gene）这个词分离出来，并应用于遗传单位上。孟德尔首次发表自己的实验结果的40年后，也就是孟德尔辞世20年后，他的研究为生物学开辟了一个全新的领域。

正如孟德尔曾预言过的那样，整个世界最终都认可了他的研究成果。

格雷戈·孟德尔

《植物杂交试验》

（1865年）

1901年，孟德尔的论文由伦敦皇家园艺学会翻译成英文，清晰简明的英译本至今仍是标准版本。1909年，W.P.贝特森出版了《孟德尔的遗传定理》（*Mendel's Principles of Heredity*）一书，并随之发表了孟德尔论文的英文完整版，该书可以在互联网上找到；柯西莫出版社（Cosimo Publications）印刷了高质量的平装本，其中囊括了所有公式和图表。

Gregor Mendel, *Experiments in Plant Hybridisation*, Cosimo Publications (e-bookand paperback, 2008, ISBN 978-1605202570).

格雷戈·孟德尔，《植物杂交试验》，柯西莫出版社（电子书，平装，2008年，ISBN 978-1605202570）。


1. .Charles Darwin, *The Origin of Species* (Wordsworth Classics, 1998), 13.

2. .Charles Darwin, *The Variation of Animals and Plants under Domestication* (D.Appleton, 1897), 2: 371; P.Kyle Stanford, *Exceeding Our Grasp: Science, History, and the Problem of Unconceived Alternatives* (Oxford University Press, 2006), 65.

3. .Michael R.Rose, *Darwin's Spectre: Evolutionary Biology in the Modern World* (Princeton University Press, 1998), 33; Peter Atkins, *Galileo's Finger: The Ten Great Ideas of Science* (Oxford University Press, 2004), 45–46.

4. .Gregor Mendel, *Experiments in Plant Hybridisation* (Cosimo Classics, 2008), 15, 21ff, 47.

5. .Atkins, *Galileo's Finger*, 48–49; Alain F.Corcos and Floyd V.Monaghan, *Gregor Mendel's Experiments on Plant Hybrids: A Guided Study* (Rutgers University Press, 1993), 28–30.

6. .J.A.Moore, *Heredity and Development*, 2nd ed.(Oxford University Press, 1972), 29, 45; Atkins, *Galileo's Finger*, 52–55.

7. .Rose, *Darwin's Spectre*, 41.

8. .Moore, *Heredity and Development*, 74.

# 22
# 综合论

## 将细胞层面的观察与进化论的宏大理论相结合

目前，生物学已经进入综合论时期，而此前，新的研究领域层出不穷，它们相对独立地发展着……我们已经看到了使达尔文主义重焕生机的初步成果。

——朱利安·赫胥黎（Julian Huxley），

《进化：现代综合论》（*Evolution: The Modern Synthesis*，1942年）

第一次世界大战结束了，查尔斯·达尔文遇到麻烦了。

这两件事并非毫不相干。“那件事……而非其他任何事件，为西欧今天的局面奠定了基础，”1918年停战前夕，美国生物学家雷蒙德·珀尔（Raymond Pearl）说道，“那就是《物种起源》一书的出版。”他说出了一条普遍观点：达尔文的自然选择将人类从其作为上帝有意之作而与众不同的特殊位置上移开，把他们扔进了动物世界那种令人沮丧的、道德沦丧的生存斗争中。“自然界中的一切都在战斗。”达尔文曾这样写道。珀尔写道（以一种怪异的预知般的口吻），无疑，**智人**（*Homo sapiens*）也曾卷入这场战争，难怪德国残忍地对其他民族进行“生物清除”。注

神学界对《物种起源》的反对之声也更加强烈。

“在美国，基督教对民众灵魂的影响远远超过了其他国家。”阿历克西·德·托克维尔（Alexis de Tocqueville）曾于一个世纪前说过这句有名的话。在美国，人们固执地忠诚于《创世记》，认为它一字一句都是真理，并以此形式对达尔文发起挑战。1925年写入田纳西州法律的《巴特勒法案》禁止教师用自然选择取代神创论作为课堂教学，而且随之进行的斯科普斯（Scopes）的“猴子审判”支持了该法案的合法性。[注]

但是，自然选择同时也遭到了一些生物学家的猛烈抨击，这些生物学家关心的并非是其对伦理道德造成的影响，而是对其可能对进化论造成的难以预料的结果感到困惑。

自然选择是一种随机变化，自然选择的作用就是铲除弱者；这似乎不足以解释发展，解释日益增加的复杂性以及作为生命历史一部分的**方向性**。自然选择似乎更有可能产生无计划的、无方向性的变化。因此，大量杰出的生物学家［俄国的列夫·伯格（Lev Berg）、奥地利的路德维希·冯·贝塔朗菲（Ludwig von Bertalanffy）、德国的奥托·申德沃尔夫（Otto Schindewolf）等众多生物学家］提出了各种**定向进化**学说，这一学说认为在物种起源的背后一定存在**某种**预先设定好的模式、目标或意图。

日益精密的仪器、越来越多的数据以及愈发完善的研究技术使得研究者们频频获得新的发现，许多发现（在细胞学、生物统计学、胚胎学、遗传学方面）表明自然选择足以对有机生命做出解释了。但是，这些研究受到专业术语的阻碍，令那些没有相关专业知识的人读不懂。如恩斯特·迈尔所说，“生物学的各个领域之间存在着沟通的鸿沟”，生物学与其他科学之间更甚。遗传学尤其如此，这一学科不断获得新的观点，但是无暇将自己的发现与博物学实地考察所揭示的现象联系起来：比如动物行为、化石，以及各生存环境之间复杂的相互作用。[注]

“达尔文的自然选择理论……远远不能对导致众多适应性变化的原因做出最终解释。”《动物学教科书》（*Lehrbuch der Zoologie*）中写道。这本书是20世纪20年代德国大学的标准教材。著名的植物学家威廉·约翰森的态度更为坚决。“（这）非常明显，遗传学彻底剥夺了达尔文自然选择理论的理论基础。”他这样写道。“我们从未这般怀疑过进化论的机制。”法国生物学家让·罗斯丹（Jean Rostand）承认。1937年，巴黎国家自然历史博物馆馆长保罗·勒莫因（Paul Lemoine）更进一步断定：“自然选择不占一席之地，遗传学数据不能为进化提供任何有利的证据……进化论很快就会被摒弃。”[注]



似乎是朱利安·赫胥黎的基因注定了他要拯救达尔文的进化论。

他的祖父托马斯·H.赫胥黎是《物种起源》的早期评论者之一，后来成了达尔文的热烈支持者和朋友。“《物种起源》，”第一部《物种起源》出版十来年后，他在给一位朋友的信中写道，“在生物科学界引起的革命堪比《数学原理》在天文学领域引起的革命。”托马斯·H.赫胥黎一生都是达尔文理论的坚定捍卫者，他对批判者予以反击；他曾给自己取了一个外号，叫作“达尔文的斗牛犬”。[注]

1887年，小朱利安出生了，他自小就是一位生物学家：他对“植物和动物、化石和地理学”很感兴趣，他捉青蛙，对蝴蝶进行分类，并观察鸟类。“很明显，朱利安有进行生物学研究的潜质。”他德高望重的祖父说道，而此时，朱利安只有4岁，“我多想教他！”朱利安后来进入牛津大学学习动物学，并于1909年毕业。毕业后，他继续留在牛津大学进行一系列实验，实验课题令人吃惊：胚胎学、个体发生、细胞分化、形态发生、遗传学以及（他常常将实验研究与实地观察结合起来）红脚鹬和凤头鸊鷉的求偶行为。

20世纪20年代晚期之前，朱利安·赫胥黎一直都活跃在学术界：他是一位有感召力的、备受尊敬的老师和研究者，但是后来他对自己的学生和不幸福的婚姻越来越不耐烦，越来越厌倦；他还因不时发作的抑郁和狂躁症备受折磨。1926年，作家H.G.韦尔斯（H.G.Wells）邀请朱利安合作撰写一部恢宏的生物学百科全书，希望这部书可以对生物学领域所有的发展进行总结。韦尔斯比朱利安大20岁，曾在伦敦学习生物学，师从托马斯·H.赫胥黎；他此时已是一位有名的作家，写过《时间机器》（*The Time Machine*）和《世界之战》（*The War of the Worlds*）（此外还有许多书）。注

朱利安抓住了这次机会，离开了教书岗位，开始写书。尽管朱利安的写作技巧非常娴熟，但是韦尔斯（出了名的苛刻和挑剔）坚持要让他一遍一遍地修改自己的文本，因为只有这样，非专业的大众读者才能对日益复杂的生物学发展有所了解。“我学到了很多……在H.G.韦尔斯的严苛的指导下，”赫胥黎后来说道，“该如何使晦涩的理论、深奥的事实通俗化……（以及）该如何将大量的数据整合为一个可控的整体，既了解每一棵树，又能看到整片森林……这一切，我必须要说，来之不易。”注

《生命之科学》（*The Science of Life*）一书畅销世界，但是与版税相比，完成一部主题宏大的杰作的能力无疑更加珍贵。

越来越多的著名科学家——其中包括朱利安·赫胥黎——开始认识到将遗传学新发现与自然史的各个领域融为一体的必要性：这是一个伟大的故事，阐释了这一切是如何共同运作的。现在唯一要做的就是捍卫已存在半个世纪之久的达尔文理论，无论如何，也要认识到，将达尔文最初的理论与遗传学和细胞学的最新发现相结合是有必要的。科学家和民众都需要加深对“起作用的进化”的理解，这也是宏大理论与具体发现共同作用的方式。注

因此，“达尔文的斗牛犬”——朱利安·赫胥黎效仿祖父的做法，于1936年提议建立一个新的学会：普通生物学分类学研究协会（Association for the Study of Systematics in Relation to General Biology）。他是该协会的第一任主席；第一次会议于1937年6月的一个星期五召开，共有74位生物学家参会。《自然》（*Nature*）杂志的相关报道说，新成立的协会的目标之一是要“促进生物学各分支研究者之间的讨论与合作”注。

俄罗斯昆虫学家、同为分类学者的奥多修斯·多布赞斯基（Theodosius Dobzhansky）经常与赫胥黎通信来往，那时他也正准备出版自己的书《遗传学与物种起源》（*Genetics and the Origin of Species*，1937），此书汇集了多布赞斯基的遗传学实验室研究、实地考察结果（他进行了大量的果蝇观察）以及与群体遗传学相关的晦涩的（对非专业人士而言）数学运算——这一切都是为了证明达尔文的自然选择学说**的确**可以对物种的存在做出解释。这是第一部系统的、全局性的现代生物学著作，但绝不是最后一部。注

随后10年，乔治·盖洛德·辛普森（George Gaylord Simpson）的《进化的节奏和模式》（*Tempo and Mode in Evolution*）、波恩哈德·伦施（Bernhard Rensch）的《物种层面之上的进化论》（*Evolution above the Species Leve*l）以及恩斯特·迈尔的《动物学家的系统分类学与物种起源观点》（*Systematics and the Origin of Species from the Viewpoint of a Zoologist*）也纷纷面世。赫胥黎也在努力完成自己的全局性著作。1942年，他的《进化：现代综合论》（*Evolution: The Modern Synthesis*）面世，该书在两个方面与众不同：赫胥黎这本书特别针对的读者群体是那些缺乏专业知识但是对进化论感兴趣的知识分子，而并不仅仅是科学家们；此外，这也是赫胥黎首次使用“综合论”这个词。

“达尔文主义的死讯不仅仅是从神学讲坛上传来，也从生物学实验室中传来。”赫胥黎开篇写道，“但是，与马克·吐温（Mark Twain）的情况相似，报道似乎过于言过其实了，因为今天，达尔文主义还充满生机。”在第一章中他阐述了他的写作目的：

> 曾经有一段时期，生物学的新研究领域层出不穷但彼此相对孤立；但在过去20年里，生物学已经发展成了一个更加统一的科学。生物学已经进入了综合论时期，今天，生物学领域展现出来的不再是众多半独立的科学分支彼此对立的局面，其整体性正在赶超早已建立的科学体系，例如物理学——在物理学领域，一个分支的发展几乎会同时带来其他所有分支的发展，理论与实践携手共进。这带来的主要结果就是，达尔文主义的复兴……复兴的达尔文主义比以前更加完善，因为它必须考虑到达尔文过去不知道的事实；但它仍旧是达尔文主义，因为其目的在于从自然的视角对进化论进行阐释……达尔文主义复兴后，这只变异了的凤凰便从柴堆灰烬中飞出……我在随后几章会阐述这一部分。(注)

这是一项将不断延伸、涵盖各个领域的事业，因为《进化：现代综合论》就是一部不断延伸、涵盖面广泛的书，书中依次涵盖了古生物学、遗传学、地理分化、生态学、分类学、适应作用以及进化的观点。

尽管内容庞杂，但是H.G.韦尔斯对赫胥黎的指导卓有成效。清晰的文风以及对专业知识的通俗的、口语化的呈现使得《进化：现代综合论》一书具有很强的可读性，一面世即获成功。“这是这十年来，或许是这一个世纪以来最杰出的进化论方面的文字了。”生物学领域最权威的杂志《美国博物学家》（*American Naturalist*）如是举荐道，读者们也纷纷对此表示同意。赫胥黎的这本书总共印刷了五次，修订了三版；1973年出版的最新版本中增加了一篇新的导言，这篇导言由九位

著名的科学家共同撰写，他们肯定了综合论，并更新了其中的数据。注

自1942年起至21世纪，这一领域的探索——将遗传学细胞层面的研究与博物学的宏大世界联系在一起——将会继续，将会日益扩大范围，不断汲取发展中的专业分支（比如20世纪晚期的进化基因组学）。该领域也将继续沿用赫胥黎书名所用到的名词：**现代综合论**。赫胥黎复兴了达尔文理论，这只“涅槃的凤凰”正不断进化，向前发展。

朱利安·赫胥黎

《进化: 现代综合论》

（1942年）

2010年，麻省理工学院出版社出版了1942年版本的《进化: 现代综合论》，其中包括赫胥黎亲自撰写的序言以及第二、第三版的导言。

Julian Huxley, *Evolution: The Modern Synthesis: The Definitive Edition*, MIT Press (paperback, 2010, ISBN 978-0262513661).

朱利安·赫胥黎，《进化: 现代综合论（定本）》，麻省理工学院出版社（平装，2010年，ISBN 978-0262513661）。

1. .David Paul Crook, *Darwinism, War and History: The Debate over the Biology of War from the“Origin of Species” to the First World War* (Cambridge University Press, 1994), 1, 15; Raymond Pearl, “Biology and War,” *Journal of the Washington Academy of Sciences* 8, no.11 (June 4, 1918): 355.

2. .Alexis de Tocqueville, *Democracy in America* (D.Appleton, 1899), 1: 326, 328; Edwin Scott Gaustad and Mark A.Noll, eds., *A Documentary History of Religion in America since 1877*, 3rd ed.(Wm.B.Eerdmans, 2003), 350.

3. .Jan Sapp, *Genesis: The Evolution of Biology* (Oxford University Press, 2003), 63; Ernst Mayr and William B.Provine, *The Evolutionary Synthesis: Perspectives on the Unification of Biology* (Harvard University Press, 1998), 3, 8–9.

4. .Mayr and Provine, *Evolutionary Synthesis*, 8, 282, 315, 316.

5. .T.H.Huxley and Leonard Huxley, *Life and Letters of Thomas Henry Huxley* (D.Appleton, 1900), 1: 391.

6. .Krishna R.Dronamraju, *If I Am to Be Remembered: The Life and Work of Julian Huxley with Selected Correspondence* (World Scientific, 1993), 5, 9–12, 15.

7. .Ibid., 42.

8. .Vassiliki Betty Smocovitis, *Unifying Biology: The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology* (Princeton University Press, 1996), 140.

9. .Calendar entry ("Association for the Study of Systematics in Relation to General Biology"), *Nature*, July 24, 1937, 164.

10. .John Krige and Dominique Pestre, eds., *Science in the Twentieth Century* (Routledge, 2013), 422.

11. .Julian Huxley, *Evolution: The Modern Synthesis*, definitive ed.(MIT Press, 2010), 22, 26–28.

12. .Ibid., 3, 6–7.

# 23
# 生命的秘密

## 生物化学揭开遗传特征之谜

科学很少如同局外人想象的那般按照简单的逻辑思维发展。

——詹姆斯·D.沃森（James D.Watson），

《双螺旋》（*The Double Helix*，1968年）

100年以来——至少从拉马克那时开始——生命科学界就认识到生物会将性状传给后代。但这一过程是如何进行的还是未解之谜。亲代将**某些物质**遗传给了子代；但这种物质是什么？它是什么样子的？是如何作用的？它在哪里呢？“泛子”（pangene）这一信息单位，是如何让子代拥有了与亲代相似的眼睛颜色、身高和毛发呢？

1953年，美国年轻人詹姆斯·沃森与他在剑桥大学工作的英国同事弗朗西斯·克里克（Francis Crick）共同发现了这一系列问题的答案：DNA，即可以将亲代的性状复制给子代的双螺旋链状分子。克里克兴奋不已，他冲进了附近的酒吧，向大家宣布他刚刚发现了“生命的秘密”。大量的科学书籍都会告诉你，这个发现“改变了世界”，“是20世纪最重要的科学发现”，“现代生物学就此诞生”。15年后，这个转折点因詹姆斯·沃森的《双螺旋》（*The Double Helix*）一书而被世人永远铭记。《双螺旋》讲述了沃森的DNA研究经历，书一面世即获成功。[注]

但是，一个多世纪以前，人们就知道了脱氧核糖核酸的存在。而它的双螺旋结构事实上在未来几年都不会真正引起人们的注

意。“DNA的发现”源于17世纪的技术，在19到20世纪的几十年内发展起来，依靠众多科学家的努力工作，并最终被一位具有感召力的研究者写成了畅销书。但“发现DNA”实际上不过是化学、生物学乃至物理学这一系列发展中一个小进步罢了。



自从罗伯特·胡克第一次通过他的显微镜观察一块软木塞，自然科学家就认识到生物是由彼此分离的小片断组成的，就像一个蜂巢被分成了许多细小的甜蜜的巢室一样。“软木塞中充满了空气，”胡克在《显微图谱》中写道，“并且……这些空气被密封在了小盒子或小隔室中，这些小隔室各不相同。”胡克观察了许多毫不相干的生物的细胞，比如石化的木头和蜘蛛细胞；其他的观察者也追随他的脚步，他们在各种蔬菜、胚胎和动物组织中发现了细胞。

细胞里面有什么？细胞为什么存在？（为什么不是简单的一团肉呢？）18世纪的科学尚无法解答这些问题。但是到了19世纪30年代后期，观察者们利用改进后的仪器来延伸自己的感官。两位观察者［法国生物学家菲力克斯·迪雅尔丹（Félix Dujardin）以及波西米亚的扬·浦肯野（Jan Purkinje）］得出结论，他们认为胡克的小盒子里充满了一种“黏的、半透明的物质”，很黏，不易研究，对生命至关重要，浦肯野将这种物质称为“原生质”。原生质是最基本的“生命物质”，这是一种重要的胶状物质，但是它的用途仍旧未知。[注]

1847年，两位德国博物学家——植物学家马提亚·雅各布·施莱登（Matthias Jakob Schleiden）和动物学家西奥多·施旺（Theodor Schwann）——将胡克发现的**细胞**定义为最重要、最基本的生命单位。在每个新生生物中，细胞都在增大、完善，开始时只是小微粒，逐渐膨胀。“这是一条绝对定律，”施旺写道，“即每个细胞……一开始的形态是一些非常细小的囊泡，它的尺寸逐渐扩大直至长成完全成熟

时的状态。”德国生物学家马克斯·舒尔茨（Max Schultz）在1861年的论文中证实，细胞是一个充满原生质的小球，其中还包括一个清晰的核心——**细胞核**（英文“nucleus”，原子，拉丁词中的“核心”）。注

与此同时，化学——自17世纪，罗伯特·波义耳对其进行阐释后，化学领域就一直致力于金属、气体以及其他的无机物质的研究——也开始与生物学有所交叉。1828年，化学家弗里德里希·维勒（Friedrich Wöhler）偶然在实验室中合成了有机复合尿素；尿素是尿液的天然成分。（“我可以不借助肾脏就合成尿素了！”他在给一位同事的信中兴奋地写道。）尿素的意外合成意味着作用于无机物的基本化学法则也同样作用于有机物，即我们可以通过这些法则来理解有机物质。细胞会感受到刺激，产生反应，被催化、分裂，可以作为化学实验的对象，可以通过化学反应被人们理解：这就是**生物化学**的开始。注

这一新生科学迅速发展起来。1833年，法国化学家安塞姆·帕扬（Anselme Payen）和让-弗朗斯瓦·佩索兹（Jean-François Persoz）在麦芽（他们称其为“淀粉酶”）中发现了**一种物质**，该物质可以将淀粉转化为糖。淀粉酶是最早为人所知的一种**酶**——酶是一种有机分子，通常是蛋白质；酶可引起某种化学反应，并可能引起生物的变化。四年后，瑞典化学家琼斯·贝采里乌斯（Jöns Berzelius）提出了“催化作用”这一名词，指的是一种过程“与我们此前所知的（那些）不同”，这一过程能够引起“机体内成分的重新排列，改变它们之间的联系”。催化作用的发现影响的不仅仅是试管（实验室试验）。贝采里乌斯写道：

> 当我们将催化作用应用于自然生物时，我们就会得到一个全新的认识。根据这一观点，我们可以假设在活着的植物和动物体内，在组织和流体之间正发生着数以千计的催化过程，并产生了许多不同的化合物；这些化合物都是由普通的原材料，即植物的汁液或动

物的血液组成的；我们至今还不知道这一过程发生的原因，但在未来，我们也许会在有机组织的催化作用中找到答案。[注]

对人类作为生物的存在以及其外形和形态的最终解释有赖于**化学**——有赖于对控制细胞产生和相互作用的反应的理解。

但细胞仍旧是一块无人涉足的领土，生物学家或化学家所能做的，顶多是对细胞的轮廓进行猜测而已。



1865年，瑞士医学学生弗里德里希·米歇尔（Friedrich Miescher）从一次伤寒中康复，但留下了后遗症：他听力受损，一只耳朵完全失聪。

这使他无法照顾病患者。于是，米歇尔决定转而从事医学研究。他以一位叔叔为榜样。这位叔叔就是著名医师威廉·希思（Wilhelm His）。“我得出了结论，”他后来在个人情况中写道，“只有通过化学，才能找到生物组织生长问题的最终答案。”米歇尔对化学的兴趣所在就是细胞组成——尤其是神秘的细胞核；了解细胞核是件非常困难的事，其功能目前也无人知晓。他注意到**淋巴**（白细胞）细胞的细胞核明显要比其他细胞的细胞核大。于是，他决定收集废弃医疗绷带上的脓液，并将上面白细胞的细胞核分离出来（惯常的做法是利用多种溶剂进行分离），并分析它们的组成。[注]

两年实验后，米歇尔于1871年公开了实验结果，结果揭示了一个出人意料的存在。通常认为，细胞核是由蛋白质组成的，蛋白质（一定程度上）是构建生命的基石。但是这些细胞核分裂成两部分——一部分是蛋白质，但另一部分是此前人们不知道的略呈酸性的物质，米歇尔将这种新发现的酸命名为：**核素**（nuclein）。[注]

1929年，立陶宛生物化学家菲巴斯·利文（Phoebus Levene）被国内的反犹太主义势力驱逐到了美国，他在位于纽约的洛克菲勒研究所（Rockefeller Institute）工作。他鉴定出了米歇尔的细胞核中含量最多的元素是一种糖，被称为“脱氧核糖”。他将细胞核内这种特别的酸称为“脱氧核糖核酸”。[注]

米歇尔发现了DNA，利文也为它命了名。但两人都不知道它到底是什么。



生物化学家对生命化学组成的理解不断加深，而生物学家仍旧对孟德尔的基因感到困惑。

他们身边有纷繁复杂的信息，但无人能将彼此相关的片段摘取出来组成整体。19世纪80年代早期，沃尔特·弗莱明（Walther Flemming）在正在进行分裂的细胞中发现了一种细微的线状结构——染色体；1890年，生物学家赫尔曼·亨金（Hermann Henking）注意到，有一些染色体在细胞分裂时平均配对（在子细胞中均分），就像方块舞中面对面的舞者相对而行，还有一些染色体（明显可以看到）则全部进入**一半**子细胞中。他不知道为什么是这个样子的，但他为这个有时行动显得迟缓的染色体命名为“X染色体”，象征这是一个谜团。[注]

1902年，德国生物学家特奥多尔·博韦里证实，染色体就是将孟德尔的“基因”从亲代传给子代的载体。随后，下一步就是要弄明白信息片段（基因）与两种不同的染色体之间的联系。三位美国生物学家分别做出了自己的观察。克拉伦斯·麦克伦（Clarence McClung）研究的是蚱蜢，他率先提出X染色体的存在与否也许决定了子代的性别；埃德蒙·比彻·威尔逊（Edmund Beecher Wilson）研究了**半翅目昆虫**（蚜虫、蝉、红薯瓢虫），并总结出在**雌性**后代体内一定存在X染色体；

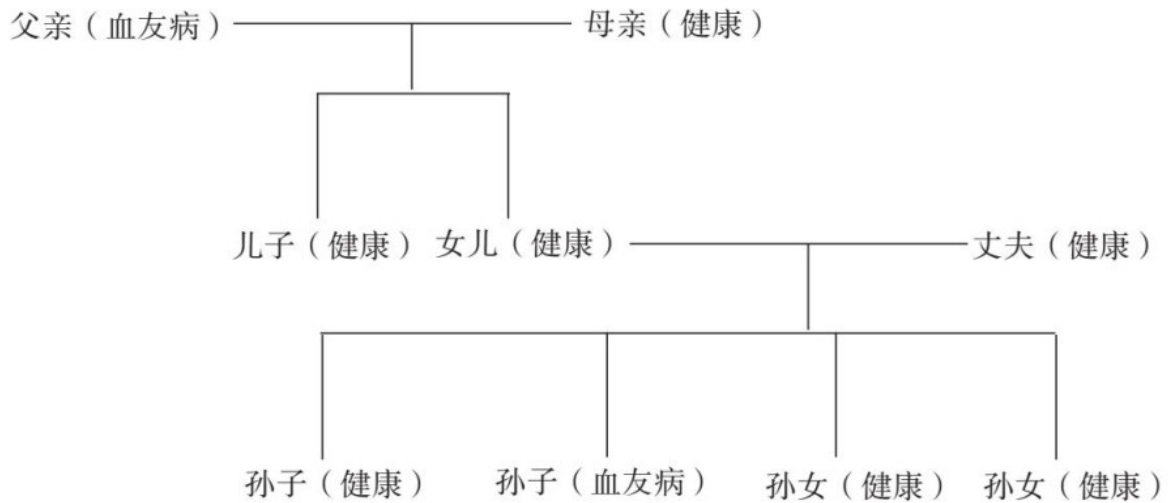
内蒂·斯蒂文斯（Neittie Stevens）研究了果蝇体内高质量的细胞，并通过观察证实了威尔逊的理论。㊟

斯蒂文斯公开了她的果蝇研究结果后，动物学家托马斯·亨特·摩根（Thomas Hunt Morgan）在哥伦比亚大学负责进行了一个为期七年的研究项目，对四代果蝇的情况进行追踪。由于果蝇繁殖速度很快，所以七年实际上可以算得上是一个“深时”了；摩根和他的同事们记录了大量的信息并据此推断：决定眼睛颜色的基因信息是由X染色体携带的。㊟

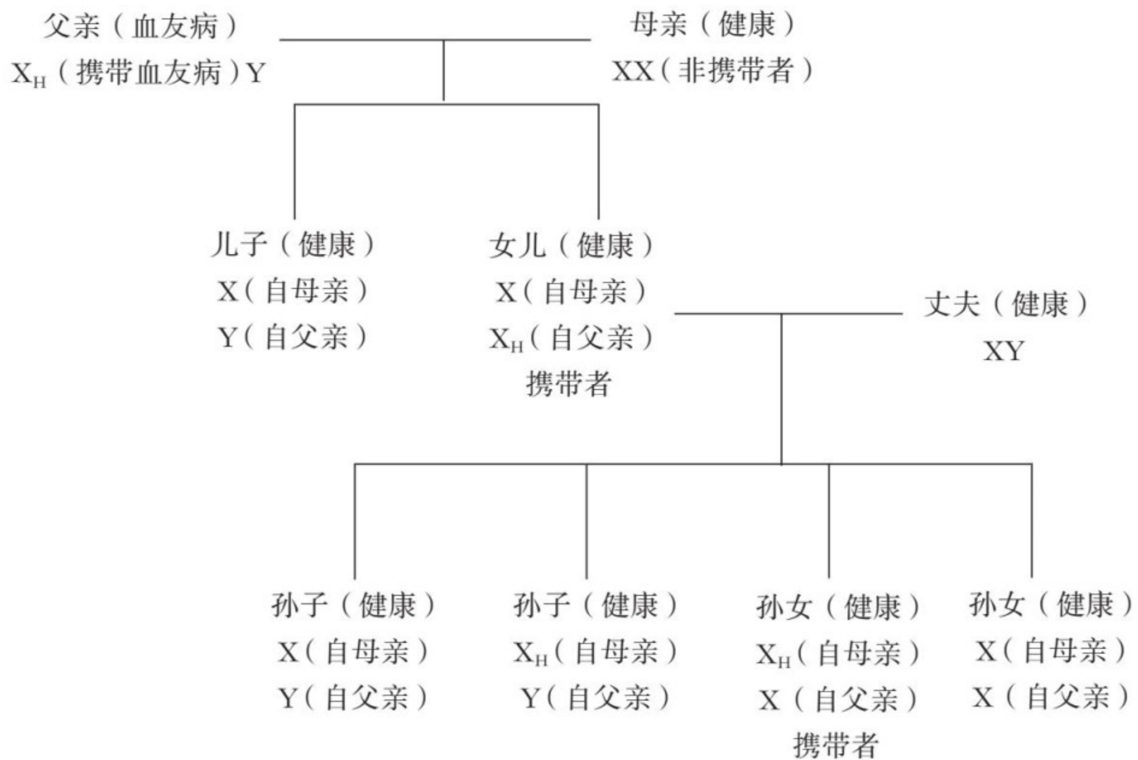
这是首次将某一特定的**表现型**（可见的特性，比如身高、体重、鼻子的形状、毛发颜色）与某一具体的**基因型**（染色体的排列方式）直接联系起来。科学家们几个世纪前就观察到有一些性状是不能直接从父本遗传给子本的，而摩根的发现为此提供了生物学方面的解释。㊟

“一个家庭的所有成员可能会大量出血，而另一家庭的成员则可能几乎不怎么流血。”这句话出自约3世纪时巴比伦王国的典籍《塔木德》（*Talmud*）；《塔木德》是最早提到血友病——凝血功能障碍性疾病——的典籍之一。随后的几个世纪，医师都在设法治疗这一怪异的疾病。10世纪时，科尔多瓦外科医生阿尔布卡西斯（Albucasis）观察到，健康的母亲也会生出患有血友病的儿子；19世纪初期，费城医生约翰·奥托（John Otto）曾写道，似乎血友病只有男性会患上；德国、西班牙以及俄罗斯的王室都深受该疾病的折磨，因为说不定哪一代的王子就会患病，毫无规律可循。㊟

查尔斯·达尔文将该疾病的遗传特征的模式绘制成图表，如下图所示：




通过摩根的果蝇实验，我们得以对这一奇怪的模式做出解释。如果只有X染色体携带着血友病的基因信息，那么，只有当所有复制出来的X染色体**都**被感染时，人才会患病。因为男孩只有一条X染色体，因此他们患病的概率就更大。（奥托医生被数据误导了；女性虽然很少患血友病，但这并不绝对。）




摩根的研究揭开了遗传信息传递的隐形路径：一个看似健康的女儿实际上是隐性的疾病携带者，她将疾病遗传给她的儿子的概率为50%。

但这一切似乎仍旧与遗传特征的**机制**没什么关系。染色体是如何携带遗传信息的？遗传信息又是如何影响受体的？（换句话说，基因型与表现型之间有何关系？）这两个问题仍旧是个谜团。研究染色体和基因的生物学家们仍旧停留在数据收集和处理阶段：观察哪条染色体到了哪里，或者结果可能是什么。

当化学、生物学与物理学三个领域有了一次短暂的交叉时，答案才开始出现。

1927年，摩根果蝇项目的合作者、生物学家赫尔曼·穆勒（Hermann Muller）宣布，用强烈的X射线连续照射果蝇会**改变**它们

的遗传信息。被辐射了的果蝇所产生的后代有一套完全不同的表现型；穆勒记录了“带斑点的翅膀”、“白色的眼睛”、“小型的翅膀”、“叉状的刚毛”等等。伦琴、居里夫妇以及卢瑟福的研究已经表明，辐射会导致原子和分子的结构**变化**(注)；穆勒的研究结果表明那神秘的**基因**实际上就是分子——分子结构极易受到X射线的影响。由于辐射每次都会造成不同的变化，因此，基因也往往是一系列不同的分子，而不是一堆彼此相似的粒子，“只是彼此的复制品”。(注)

因此，基因就是分子，并由染色体携带着从亲代传给子代。这是第一个谜团的答案。但第二个谜团仍旧无解：一个分子是如何产生了某种特定形状的耳垂、一根较长的二趾或雀斑等**表现型**的?

科学家们在面包霉（bread mold）中找到了答案。

20世纪40年代，两位来自斯坦福大学的生物化学家：乔治·比德尔（George Beadle）和爱德华·塔特姆（Edward Tatum）做了一系列研究脉孢霉（Neurospora）的实验。脉孢霉是一种长在面包上的霉菌。［脉孢霉可以将大豆豆渣和椰浆制作成印度尼西亚一种名叫“昂卡姆”（oncom）的主食。］他们的研究表明，当基因发生改变时，某些**酶**就会停止分泌——导致有机体中的细胞无法进行特定化学反应。

而正是这些化学反应使该有机体不同于其他有机体。一个世纪之前，安塞姆·帕扬和让-弗朗斯瓦·佩索兹发现了第一种酶；琼斯·贝采里乌斯则发现了“催化反应”对生物的重要性。自那之后的几十年中，生物化学家在上述发现的基础上不断改进；因此，比德尔和塔特姆才能够对某种生物做出界定——其整体结构、新陈代谢、表现型，以及作用的方式和外在表现——生物就是它体内所有的化学反应。酶是这些化学反应的催化剂。基因的改变会导致酶的改变；酶的改变会导致表现型的改变；表现型的改变则会产生一种新的细胞，这种新细胞需要

的营养物质与亲本不同，比如果蝇翅膀上的斑点、较长的第二趾和腭裂。凡是对酶动了手脚，有机体就会发生改变。

最后要弄清楚的是基因型与表现型之间的关系。随后几年，比德尔和塔特姆都在绘制图谱。从图谱中可以看出哪条染色体携带了什么酶，又会产生怎样的表现型。他们的研究被称为“一个基因一种酶”假说：基因（人类基因、细菌基因或其他基因）会影响酶的分泌，酶又会影响生物的性状。[注]

但是基因本身仍旧是个谜团。科学家们所熟知的分子、有机物质或化合物都无法控制酶。

与此同时，生物学家奥斯瓦德·艾弗里（Oswald Avery，与利文一样，在纽约洛克菲勒研究所工作）正在研究肺炎球菌病毒。有一种肺炎球菌拥有独特的性质：该病毒细胞可在自身周围形成一层膜，这层膜是由一种复杂的分子“多聚糖”构成的。这层膜强化了病毒，增加了病毒的威力。

艾弗里意识到，如果从可以形成多聚糖膜的肺炎球菌中提取DNA（DNA就是利文发现的酸性物质，是米歇尔发现的“细胞核”的一部分）溶液，并将其注入**其他**的肺炎球菌中，受体球菌就会发生改变。原本不会形成多聚糖膜的肺炎球菌忽然间也可以形成多聚糖膜了。

这本可能是一个“尤里卡”（“我发现了！”）时刻。

然而，奥斯瓦德·艾弗里（一个非常谨慎、有责任心的人）在给他的兄弟的私人信件中提到，这份DNA溶液似乎引起了化学反应，这太出人意料了，就像“基因”会引起化学反应一样出人意料。他和他的同事非常怀疑他们得到的结果，因此并没有大肆宣扬自己的结论。他们将自己的研究结果发表在了读者甚少的《实验医学学报》（*Journal of Experimental Medicine*）上。对细胞及其性质的研究已经广泛延伸到了

各个领域，并发展出了分支领域，以及众多小的发现；因此，几乎没有哪一位生物学家（或生物化学家）可以掌握所有相关发现的所有知识。注

只有一小部分生物学家对第三种平行却独立的研究有所了解：生物学家麦克斯·德尔布吕克（Max Delbrück）和萨尔瓦多·爱德华·卢瑞亚（Salvador Edward Luria）以及细菌学家阿尔弗雷德·赫尔希（Alfred Hershey）三人在位于长岛（Long Island）的实验室中一同工作，他们试图分离可以侵染细菌的病毒的结构。这些病毒（“噬菌体”）侵入细菌细胞，在其中自我繁殖，然后毁灭宿主菌，释放自己。

非常明显，这些病毒能够自我复制。1947年，另一位生物化学家西摩·科恩（Seymour Cohen）注意到当某种噬菌体侵入细菌细胞时，被感染细胞中的DNA的合成会突然中止——几分钟之后又重新开始，但合成速度发生了变化。这是一个非常强烈的暗示：DNA**也许**与复制有关。

其他的研究者们则理论推定，也许DNA就是细胞进行自我复制的原动力。但通常认为，细胞核中的蛋白质更有可能承担该角色。但不论是哪种情况，科学家们都无法准确地解释亲本细胞是如何加密遗传信息的，子代细胞又是如何解码的。注

1948年，年轻的詹姆斯·沃森正在攻读博士学位，但他仍旧不确定自己的研究方向。在这一年，他开始同长岛的噬菌体小组一起工作。起初，他对核酸研究几乎没有兴趣。在这个领域中“很难推翻什么观点”。“许多关于蛋白质三维结构和核酸的言论都是大话。”他后来说道。理论有一大把，但是没有一个能经得住考验。

1951年，在欧洲的一次博士后协会上，沃森听取了由英国物理学家、生物学家莫里斯·威尔金斯（Maurice Wilkins）做的报告。莫里斯·威尔金斯一直在伦敦国王学院进行DNA研究。威尔金斯借助DNA的X

射线图片来阐释自己的报告，从图片上可以清楚地看到DNA的结构。沃森突然被这吸引住了。当然，如此清晰的结构也许是发现DNA“一般结构”的钥匙，或许这一结构还可以证明是DNA携带着那难以捉摸的遗传信息。㊟

沃森无视自己的教职的相关规定，设法为自己在英国谋取了一个职位。他与生物物理学家弗朗西斯·克里克一同在剑桥大学的卡文迪什实验室中工作。克里克比沃森大12岁，多年前就开始对DNA感兴趣；但是，英国的社会习俗阻碍他做进一步研究，发现了这一点的沃森大吃一惊。“这个时候，”沃森在《双螺旋》中写道，“在英国，DNA分子研究工作实际上已经成为莫里斯·威尔金斯的私人财产了。”

> 如果此时弗朗西斯忽然跳出来，也开始研究莫里斯已经研究多年的问题，这将会非常尴尬……如果他们两个住在不同的国家就好办多了。英国的安逸——除了被婚姻纽带联系起来的情况，所有权威人士似乎都彼此认识——加上英国人的公平办事原则，阻止了弗朗西斯介入莫里斯的研究。在法国，完全不存在有道义的竞争这一说，这些问题就不会出现了。而且在美国也不会允许这种状况出现。如果伯克利的某人发现了一个非常重要的问题，他绝不会仅仅因为加州理工学院的某人已经开始研究该问题就放弃。㊟

出生于芝加哥的沃森设法促使克里克入侵威尔金斯的领地，两人还一同计划要获得最新的高质量DNA-X射线图。这一张图是威尔金斯的助手罗莎琳德·富兰克林（Rosalind Franklin）的心血。凭她自身的实力，她是一位优秀的科学家；但是剑桥大学的男校友们常常对她不屑一顾，认为她不过是一个总惹麻烦的“卖弄学问的女子”。（“女权主义者最好的家，”沃森在自己不太风光的时候曾经说道，“就是其他人的实验室。”）

与此同时，神话一般的名人、美国生物化学家莱纳斯·鲍林（Linus Pauling）也开始关注DNA。克里克和沃森决定要占威尔金斯的上风，并且“用自己的强项打败（鲍林）”，二人于是专心开始DNA研究。沃森写道，这就是要弄明白“什么原子会并排排列”，然后建立假设，利用“一系列分子模型，它们看上去与学前儿童的玩具非常相似”。他们的目标是找到一种分子模型，这种模型既要与富兰克林的X射线图片相一致，又要符合已知的相关分子的化学性质。注

1953年初，鲍林提出了一种可能的答案：DNA是一种“三链螺旋结构”，其内部是糖-磷酸“骨架”。沃森迅速意识到，这一模型是不可行的，磷酸分子会互相排斥。（或者，按他的话说：“莱纳斯的化学太荒诞了。”）但是，显然鲍林正在向正确的模型靠近。

沃森沉浸在新模型的设计中，他的劲头更足了。［“我正在（与他）争夺诺贝尔奖。”］沃森在一沓一沓的纸上涂画可能的结构，并用硬纸板制作模型，他最终确定了DNA的新结构：一个**双螺旋**结构，其“骨架”露在外面。他和克里克计算了这个模型的化学性质数据，并将已有的X射线数据与他们的模型可能产生的模式进行比对，最终认为这一假说是合理的。1953年4月，他们在《自然》杂志上发表了一篇短文，解释了该模型；短文最后的结尾只有简短的一句话（克里克写的），这句话的大意是，双螺旋结构使核酸之间可以形成氢键——这就意味着DNA是可以复制的。“我们注意到，”克里克写道，“我们所假设的配对指出了遗传物质可能的复制机制。”注

复制机制中既包括双链结构的DNA，也包括单链的核糖核酸（RNA）；生物学家柯林·塔奇（Colin Tudge）解释道，克里克和沃森所构想的双链DNA包括

> 两条单链，随后它们各自进行复制……DNA单链一旦与其配对单链分离，要么开始合成自身的互补复本，即自我复制，要么开

始形成RNA的互补单链，合成后的RNA单链离开细胞核进入细胞质，监督相关蛋白质的合成。注

RNA充当了DNA与新合成的蛋白质之间的中介，但这一过程具体是如何进行的（后来的研究者们发现了三种不同功能的RNA）仍旧不清楚。

但是，即使只有一个大致的轮廓，这一模型还是非常具有说服力的：符合化学原理，也符合观察到的核酸的性质。全世界都在检验这个模型，很多生物化学界的专家都对其进行了详细的阐释，其中有弗雷德里克·桑格（Frederick Sanger）、乔治·盖莫夫（George Gamow）、马歇尔·尼伦伯格（Marshall Nirenberg）以及J.海因里希·马特伊（J.Heinrich Matthaei）。1968年，詹姆斯·沃森出版了《双螺旋——发现DNA结构的故事》（*The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*）后，DNA的双螺旋结构及其在遗传物质复制中的作用就被当作了绝对真理。

弗朗西斯·克里克后来将遗传信息从DNA到DNA、从DNA到RNA再到蛋白质的流动称为现代生物学的“核心信条”，这一名称至今还为人广泛使用。尽管使用了“信条”一词，克里克知道该理论仍旧仅仅是一个推断。“一个重要的假设，”他写道，“不管它看上去有多么可信，仍旧没有直接的实验证据支持。”而事实上，这一理论的实验证据在随后的20年中仍旧没有找到。直到20世纪70年代后期，科学家们才拥有了专业的仪器，并描绘出了一幅真正翔实的DNA图谱；直到1984年，蛋白质- DNA的相互作用才被发现。虽然沃森书的标题生动有趣而且被广为接受，但他和克里克都没有真正地“发现”DNA。和哥白尼一样，他们只是构建了一条有说服力的理论，但是该理论可以非常完美地对几十年来观察到的各种现象做出解释。注

詹姆斯·D.沃森

《双螺旋——发现DNA结构的故事》

（1968年）

沃森的原稿的平装再版本与电子书都可以找到。西蒙与舒斯特公司（Simon & Schuster）出版的版本更加翔实，增添了编辑注释、历史背景、私人信件节选以及附加图解，市面上可以找到该版本的精装本和电子书。

James D.Watson, *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*, Touchstone (paperback and e-book, 2001, ISBN 978-0743216302).

詹姆斯·D.沃森，《双螺旋——发现DNA结构的故事》，试金石出版社（平装，电子书，2001年，ISBN 978-0743216302）。

James D.Watson, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, ed.Alexander Gann and Jan Witkowski, Simon & Schuster (hardcover and e-book, 2012, ISBN 978-1476715490).

詹姆斯·D.沃森，《双螺旋》（注解插图版），主编亚历山大·江恩和扬·维特科夫斯基，西蒙与舒斯特公司（精装，电子书，2012年，ISBN 978-1476715490）。

1. 在此上下文中，一种“酸”指的是一种物质，将这种物质放入水中，就会引起水中质子浓度或氢离子（$H^+$）浓度的增加。
2. 需要注意的是，虽然决定果蝇性别的机制与决定哺乳动物性别的机制是迥然不同的，但是对果蝇的研究可以为理解性别相关性状提供理论框架。
3. 见本书第16章。
4. .James D.Watson, *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* (Scribner, 1993), 197; Daniel D.Chiras, *Human Biology* (Jones & Bartlett, 2013), 357; John C.Kotz, Paul M.Treichel, and John Townsend, *Chemistry and Chemical*

*Reactivity* (Cengage Learning, 2009), 392; Peter Atkins, *Galileo's Finger: The Ten Great Ideas of Science* (Oxford University Press, 2004), 62.

5. .Robert Hooke, *Micrographia* (James Allestry, 1664), Observation 18; Robert C.Olby et al., eds., *Companion to the History of Modern Science* (Routledge, 1990), 358–59.

6. .Olby et al., *Companion to the History*, 359; Theodor Schwann, *Microscopical Researches into the Accordance in the Structure and Growth of Animals and Plants*, trans.Henry Smith (Sydenham Society, 1847), 242.

7. .J.Craig Venter, *Life at the Speed of Light: From the Double Helix to the Dawn of Digital Life* (Viking, 2013), 13; G.P.Talwar and L.M.Srivastava, eds., *Textbook of Biochemistry and Human Biology*, 3rd ed.(Prentice-Hall of India, 2003), xxiv.

8. .Joseph Needham, ed., *The Chemistry of Life: Eight Lectures on the History of Biochemistry* (Cambridge University Press, 1970), 17–18.

9. .Paul O.P.Ts'o, ed., *Basic Principles in Nucleic Acid Chemistry* (Academic Press, 1974), 1: 2; Rudolf Hausmann, *To Grasp the Essence of Life: A History of Molecular Biology* (Kluwer Academic, 2002), 42.

10. .Ts'o, *Basic Principles*, 8.

11. .David Bainbridge, *The X in Sex: How the X Chromosome Controls Our Lives* (Harvard University Press, 2003), 5.

12. .Eric C.R.Reeve, ed., *Encyclopedia of Genetics* (Routledge, 2014), 7.

13. .Israel Rosenfield, Edward Ziff, and Borin Van Loon, *DNA: A Graphic Guide to the Molecule That Shook the World* (Columbia University Press, 2011), 3.

14. .Isidore Epstein, ed., *Hebrew-English Edition of the Babylonian Talmud: Yebamoth* (Soncino Press, 1984), 48.

15. .Hermann Joseph Muller, *The Modern Concept of Nature* (SUNY Press, 1973), 36, 132; Hausmann, *To Grasp the Essence of Life*, 56.

16. .William Purves et al., *Life: The Science of Biology*, 7th ed.(Sinauer Associates, 2004), 107, 114, 234; Reeve, *Encyclopedia of Genetics*, 10; Hausmann, *To Grasp the Essence of Life*, 48.

17. .Hausmann, *To Grasp the Essence of Life*, 103–4.

18. .Ibid., 63–66.

19. .Watson, *Double Helix*, 33–35.

20. .Ibid., 14–15.

21. .Ibid., 20, 50.

22. .Ibid., 174, 220.

23. .Colin Tudge, *Engineer in the Garden* (Random House, 1993), e-book, chap.2 subheading“How Does DNA Work?”.

24. .Francis Crick, *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery* (Basic Books, 2008), 108–9.

# 24
# 生物学与命运

## 新达尔文主义还原论的兴起及其受到的抵制

我们都是生存着的机器——是被胡乱编程写出的机器人，为的就是保护基因这一自私的分子。

——理查德·道金斯（Richard Dawkins），

《自私的基因》（*The Selfish Gene*，1976年）

我们都是生物性的，我们的灵魂不能自由地飞翔。

——E.O.威尔逊（E.O.Wilson），

《论人性》（*On Human Nature*，1978年）

虽然我们是自然无法分割的一部分，但不能因此否定人类的独特性。

——史蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould），

《人的不可测量》（*The Mismeasure of Man*，1981年）

沃森和克里克的模型大获成功。

对双螺旋的不断阐释强化了一种假设，即双螺旋结构就是达尔文谜团中缺失的那一块：是遗传特征的机制，是孟德尔发现的基因的载体和引擎，是生命的基石。尽管还有许多仍待研究，但是到了20世纪

60年代，关于生命的最大谜团似乎已经有了答案。“遗传特征的终极秘密在于DNA分子的螺旋状结构以及原子复杂的排列方式，”1965年10月刊《生活》（*Life*）惊叹道，“科学家已经能够读懂基因代码了……一旦我们读懂了，我们也就可以学着去‘写’——也就是说，给基因下达指示——以DNA代码的形式。当这一天到来时，人类的力量就真的堪比上帝的力量了。”堪比上帝的力量，也就是说，有能力创造。“宇宙中不曾存在的或人类不曾想象到的生物”，或“新的人类……他们更适应在木星表面或大西洋海底生存”。或者，简单地说，就是**理想中**的人类：通过对DNA的操控，“强化人类的优点，同时消除缺点”。注

我们几乎没有察觉到，DNA拥有决定我们**是谁**、而不仅仅是我们**是什么**的力量。甚至在沃森—克里克模型出现之前，这种想法就已经随着一个研究领域而产生了：群体遗传学。

群体遗传学与20世纪三四十年代的“现代综合论”紧密相连。“现代综合论”试图协调细胞研究与有机生命的宏大图景之间的关系，协调整个物种的历史与微生物学单个发现之间的关系。在这10年间，T.H.摩根和他的团队在绘制果蝇的基因图谱，英国生物学家兼统计学家罗纳德·费希尔（Ronald Fisher）在计算这些基因在每一代中出现的概率。费希尔的双胞胎兄弟在出生后不久就夭折了；费希尔曾在剑桥学习数学，但对生命科学更感兴趣——与朱利安·赫胥黎、恩斯特·迈尔以及英国数学家、生物学家J.B.S.霍尔丹（J.B.S.Haldane）等人被赞誉为现代综合论的创始者。20世纪30年代，费希尔提出并捍卫自己的观点。他认为，特定基因信息由亲代传给子代的可能性是可以估算出来的，且可以由估算结果得到一个更基本的结论：这一数值可以估算出哪个个体可能存活，哪一个可能死亡。注

这是范式转移式的观点。一个世纪前，“生存的意愿”被认为是人类本质的一部分。但这是一个不可言喻、无法计算的因素，是一种生

存的“本能”，不能简化为物理学因素。（事实上，现在的认识与之相比也没太大差别。）

但是费希尔又提出生存意愿的量化解释——该解释以化学为基础，而不依赖于人类自由的心灵。生存的意志（“适应性”，按照达尔文的话说）与身体而非精神有关，与器官而非决心有关。它取决于基因的特定组合方式，费希尔设想这些基因的运作方式，认为它们并不是像化学实验室中的气体分子那样随机组合、配对和复制。

基因的组合可能会为生物带来更长的爪子、更强壮的肌肉、更容易隐蔽自身的色彩，或者令生物免于死亡的某种特性。上述四种特征都是基因组合的产物；如果你的数学足够好，你可以将它们全部预测出来。胆量，就像尖锐的牙齿一样，是基因带来的特征——而非神灵给予的品质。拥有好的数学能力，你就可以预测出胆量或尖锐的牙齿在后代中出现的频率（也可以非常粗略地估算出将在哪一代出现）。群体遗传学试图做到：计算基因变异何时会以生物外观改变或行为改变的形式表现出来，然后将预测结果与植物群、动物群或（甚至是）人的现有特征进行比较。注

群体遗传学是一个难以捉摸的、众声喧哗的新兴领域。群体遗传学的早期研究者们的研究基于如下假设：**等位基因**（基因的一种形式，位于染色体的特定位置）可以被亲代传给子代；豌豆的圆粒这一性状是由一种等位基因控制的，同样，椭圆粒或皱皮粒也是由相应的一种等位基因控制的。而这些性状将出现在哪一代，这个概率很大程度上遵循了某个数学模型。J.B.S.霍尔丹在1938年写道：“目前，人们也许会说进化论的数学理论正处于一个尴尬的位置；大多数生物学家对它不感兴趣，因为它的数学专业性太强，而大多数的数学家对它也不感兴趣，因为它的数学专业性不够强。无论如何，我们有理由认为，在随后的50年，它将会发展成为应用数学中的一个重要分支。”注

霍尔丹本人已经投身于进化论数学理论的建设中。甚至在弄清楚遗传信息是如何传递给子代之前，他就已经做出了理论推断，认为我们生存的意志与我们保全自身某些等位基因的愿望有关。当被问到他是否愿意牺牲自己，让自己的双胞胎兄弟活下来时，霍尔丹给出了一个数学家式的答案。“我不愿意。”他回答道。这段对话广为人知。“不管是两个亲兄弟，还是八个堂兄弟。”二者所保留下来的遗传物质的数量都是一样的。(注)

沃森—克里克模型面世后，人们对“遗传物质”有了更清晰的理解：生存的意志与保护和传递特定DNA序列的愿望有关。20世纪60年代初，英国生物学家威廉·D.汉密尔顿（William D.Hamilton）提出，DNA的保存也许可以解释人类的**无私**行为，比如自我牺牲。他的这一假设被称为“汉密尔顿法则”，指出利他行为总是发生在亲缘关系接近的生物群体中；当一生物为另一生物牺牲自我时，一般而言，二者具有相同的基因。当鸟妈妈不顾自身安危，引诱一只猫使其远离鸟巢时，这一自我牺牲行为的真正受益者不是巢中的幼鸟，而是**鸟妈妈**的DNA，因为DNA已经被复制进入了幼鸟体内，鸟妈妈必须要保护它的DNA。

汉密尔顿指出，这一理论就可以对蜜蜂和蚂蚁的奇怪行为做出解释：雌性为了保护它们的姐妹，可以牺牲自己的幼虫。蜜蜂和蚂蚁拥有一种特定的DNA复制方式，被称为“单倍二倍性”（*haplodiploidy*）。一些卵子不经过受精的步骤便发育为成虫；这些卵子（非常奇怪）会发育为雄性后代，而**受精**的卵子则会发育成**雌虫**。因此，雄虫只有一套染色体，而雌虫有两套染色体——这就意味着雌蜂和雌蚁与它们的姐妹所共有的基因要比与后代共有的基因更多。(注)

汉密尔顿断言，这就是为什么蚂蚁会和自己的姐妹分享食物，却不在乎后代饿死。利他行为的概率及其潜在的受益者可以通过计算两

种生物所共有的DNA的数量得知，这就是利他主义的数学模型。

几年后，美国化学家兼遗传学者乔治·罗伯特·普赖斯（George Robert Price）提出了一个可以预测利他行为的公式——普赖斯方程式，表达的是亲代遗传物质与成功存活的子代的遗传物质之间的关系。方程式为：

$$\bar{w}\Delta\bar{z} = Cov(w_i, z_i) + E(w_i \Delta z_i)$$

*w*代表生物体身体的健康情况，*z*代表一种非同寻常的特点，可以通过*z*来预测**某种可测特征**是否会在子代中出现。“这是对所有情况下的进化变化的准确、完备的描述。”进化生物学家史蒂文·A.弗兰克（Steven A.Frank）如是说。（这个公式面世后不久，普赖斯就改信基督教了，并将自己大部分财产赠给了无家可归的人和穷人；五年后，他自杀了。）注

1976年，牛津大学生物学家理查德·道金斯出版了《自私的基因》（*The Selfish Gene*）一书。该书结合汉密尔顿法则、普赖斯方程式和群体遗传学观点，得出了一个宏观的解释：一个无所不包的科学解释，它可以解释一切有机体，包括我们自身。“当一个星球上拥有智慧的生物第一次明白它存在的原因时，它就成熟了。”道金斯在开篇说道。智慧生物所明白的那个原因非常简单：我们进食，睡眠，性交，思考，书写，建造航天器和武器，牺牲自我或牺牲他人，这一切都是为了保全我们的DNA。自然选择发生在最基础的分子层面上；我们的机体不断进化，就是为了保护和繁殖我们的基因，而基因是极其冷酷自私的分子，它们只为保证自身的存活。注

这并非是令人欣慰的世界观，《自私的基因》一书激起了相当大的骚动。但是道金斯的结论只不过是根据达尔文自然选择逻辑推理出来的，并结合了群体遗传学和微生物学前几十年的观点。

当然不是他“首先提出了这个观点……即机体只不过是基因进化的机器”（一本科学书籍上当时是这么声称的），就像并不是沃森和克里克“发现”了DNA一样。实际上，1975年，也就是《自私的基因》出版前一年，生物学家E.O.威尔逊就断言（在他的《社会生物学》第一章中）：“有机体不过是DNA用来制造更多DNA的方式。”但是道金斯擅长写作，工于修辞；《自私的基因》一书以极其简练的语言阐释出了上述观点的内涵，非专业读者和学习生命科学的学生都能读懂。该书出版时，进化生物学家安德鲁·里德（Andrew Read）还是一位博士研究生，他曾说：“智慧的框架已经存在，《自私的基因》一书使其更加明确，且不可能被人们忽视。”[注]



美国生物学家E.O.威尔逊紧随着道金斯的脚步。

20年前，威尔逊曾证明火蚁复杂微妙的行为模式实际上是基于化学信号，并因此赢得了声誉。昆虫学家曾努力研究火蚁是**怎样**进行清晰的信息交流的（它们是互碰触角，还是彼此碰击身体？或是释放什么其他的信号？）一个可能的解释是，蚂蚁释放出化学信号，但是没人知道它们是**怎么**做到的。那时刚刚30岁的威尔逊刚拿到博士学位，他一直在用火蚁做各种奇怪的实验。（“不控制变量的实验，”他后来这样称呼它们，“快速且草率……只是为了看看能否发生一些有趣的事。”）他试图利用一块强力磁体让一队行进中的蚂蚁转向。（“蚂蚁根本就没有反应。”）他曾冷冻蚂蚁群，也曾偷换蚁后以弄清楚是否能将不同的蚁种混合在一起；后者真的奏效了。他取出了工蚁腹部的所有主要器官（大多数的器官比细线还要细），试图从中找到那个释放理论上的化学信号的器官。[注]

其中一个器官“杜氏腺”刚好位于螯针上方，“肉眼基本上是看不到的”，有可能就是这个器官。威尔逊用解剖了的杜氏腺标记出一条路

径，其他的火蚁纷纷涌出巢穴，跟随而来。威尔逊证明了信息素的存在；信息素是一种化学物质，不仅仅可以指引生物行为，还可以强化、刺激和**改变**生物的行动。

行为由化学决定，这成了威尔逊有机生命探究的基石。他逐步形成的学科基本思想是**学科还原论**；从物理学和化学得到的观点是一切人类知识的基础，可以通过实验进行证明，也可通过计算加以证实。生物学就以此为基础，生物学定律是直接从物理学和化学定律中得出的。社会科学——心理学、人类学、行为学（自然动物的行为）和社会学——都漂浮在“坚固的”科学之上，并完全依赖于这“坚固的”科学。(注)

20世纪60年代初，威尔逊偶然了解到了汉密尔顿关于有机体DNA保护的研究，这一理论现在被称为“亲缘选择”。“我为之着迷，”威尔逊后来写道，“为亲缘选择的原创性及其所承诺的阐释力所着迷。”他继续研究昆虫行为，他——和道金斯一样——将生物化学发现、群体遗传学、亲缘选择与自己的实地观察相结合，并据此撰写了两部作品，这两部作品后来都成了经典。《昆虫社会》（*The Insect Societies*，1971）认为，蚁群的运作方式就像一个有机体一样，有所分工，为集体牺牲个体，每只蚂蚁与其说是一个个体，还不如说是集体的一部分，是大机构中的小成员；这整个种群的行为可以通过物理学和化学因素来进行解释和预测。(注)

1975年，威尔逊又出版了他的《社会生物学——新的综合论》（*Sociobiology: The New Synthesis*）一书，该书将上述观点延伸到了各个群落，包括我们的社会。人类行为与蚁类行为一样，是实际需求的结果，而不是什么超然的现象。即使是那些看似无形的感觉和动机（憎恶、喜爱、后悔、恐惧）也是

> 受到来自下丘脑和大脑边缘系统中情绪管控中心的约束和塑造……我们不禁要问，下丘脑和边缘系统是如何构成的呢？它们是经过自然选择进化而成的……下丘脑和边缘系统的结构是为了永久地保护DNA。㊟

我们常常被懊悔或利他主义的冲动或绝望等情绪淹没，这是因为我们的大脑（独立于我们的意识认知）正在以保护我们的基因的最佳方式接触我们周围的环境。

然后，“社会生物学”就试图将人类社会仅仅理解为生物冲动的产物。伦理道德、哲学、社会学、心理学，威尔逊预言这一切都会让路于**真正**的科学，而真正的科学最终归结于分子生物学。

> 传统知识中认为行为学是行为生物学的核心的、统一的领域。它包括对动物的整套行为模式、同伴行为和比较心理学的自然研究。这两种说法都不对；二者都注定了要被肢解，一端是神经生理学和感觉生理学，另一端是社会生物学和行为生态学……很明确，未来似乎不能仅仅依靠临时的术语（和）粗糙的模型……而这恰恰是大多数当代行为学和比较心理学的特点。对动物整套行为模式的解释不可避免地要局限于：第一，综合神经生理学框架内，综合神经生理学对神经细胞进行分类并重建其系统；第二，感觉生理学框架内，感觉生理学旨在在分子层面上描绘细胞传感器的特征。㊟

“我希望这个观点不会冒犯太多的行为学和心理学学者。”威尔逊补充说。这有些乐观得不切实际。社会科学家和一大批生物学家的反应都如预期一般，他们非常愤怒。1975年秋天，一群科学家，其中包括威尔逊在哈佛的同事斯蒂芬·杰伊·古尔德，组成了一个名叫“社会生物学研究组”的反对阵营，并在《纽约书评》（*New York Review of Books*）上公开发表了一封反对信。他们指出，威尔逊的社会生物学是

**决定论**性质的：它将自由意志和选择从人类社会驱逐出去，使我们的现状看起来更像是不可避免的。

> 决定论者的理论……总是倾向于从基因角度来为我们的现状找出正当理由，并从基因角度为特定群体因其阶级、种族或性别而享有的特权做正当辩护。历史上，强大的国家或处于统治地位的群体为了稳定和扩张其权力，都是从科学界的这些结论中获得支持的……这些理论为1910年至1930年美国实施的绝育法律和限制移民法提供了重要基础，也为优生政策提供了重要基础；实施优生政策的纳粹德国建立了毒气室。

反对信的作者们抗议说，威尔逊的**社会生物学**就是这些危险观点的翻版。

> （它的）所称的客观、科学的方法实际上掩盖了其政治假设。因此，它呈现给我们的不过是将现状视为“人类天性”的必然结果的辩词……

> 威尔逊加入了生物决定论者的阵营，他们的研究服务于社会公共机构，通过使它们免于承担社会问题的责任，成了社会公共机构的支柱。考虑到这种理论过去曾带来的社会和政治影响，我们强烈认为应当说出自己的反对意见。㊟

威尔逊回击并指责了那些信奉马克思主义论的反对者，但他的回应并没有进一步推动该探讨。

但辱骂仍在继续，一些生物学家、生物化学家和遗传学者则站在了**社会生物学**的背后。接下来的20年，威尔逊的“新学科”带来了另一门科学：进化心理学。

威尔逊以《论人性》（*On Human Nature*）一书为自己辩护。这本书出版于《社会生物学》（*Sociobiology*）出版三年后，它更加密切地关注人类。而《社会生物学》一书除了最后一章以外，其他章节都是以动物研究为基础的。“最后一章，”威尔逊后来说道，“其阐释本应有一本书那么长……以便集中解决已经出现的并且有可能是来自政治意识形态和宗教信仰方面的主要的反对意见……（我写）《论人性》就是在试图达到这一系列目的。”[注]

《论人性》没有回避那些“明显令人不快的”**社会生物学**结论。“人类，”威尔逊开篇说道，“是生存和繁殖的机器，而理性不过是众多技能之一。”他然后解释了我们所珍视的每一项特质是如何从基因中产生的。（比如，“宗教仪式的最高形式……是为了带来生物学上的优势”，更别提“作为性别最终功能的遗传的多样性，产生于性行为所带来的身体上的愉悦”。）文章结尾，他高唱科学性思维的凯歌：

> （它）在解释和控制自然世界中取得了多次胜利；它具有自我更正的属性，并因此对所有（的）有资格去设计和进行检查的人都敞开大门；它准备好要检查所有学科，不论是宗教的，还是世俗的；如今，可以用进化生物学的机械模型来解释传统的宗教……最终……进化史诗也许会成为我们所拥有过的最棒的神话故事。[注]

如同詹姆斯·沃森和理查德·道金斯，威尔逊也是一位有天赋的作家，善于使用有力的隐喻。《论人性》被赞扬、被斥责的同时也被阅读着，它一出版便成了畅销书；1979年，威尔逊因此书获得了普利策奖（Pulitzer Prize）。



1981年，斯蒂芬·杰伊·古尔德予以回击。

古尔德比威尔逊小12岁，但已经是一位赫赫有名的进化生物学家了。他的贡献在于提出［与尼尔斯·埃尔德雷奇（Niles Eldredge）一同］在地质均变论和灾变论之间存在的一个中间点：间断平衡论。间断平衡论认为，物种在很长一段时间内处于进化停滞状态，不时地在（相对）短暂的时间内发生明显变化。同威尔逊一样，古尔德也擅长写作：他是流行杂志《博物学》（*Natural History*）的固定撰稿人；他曾撰写了大量的专业著作，以及两册针对大众读者的非常受欢迎的科普书。

他以《人的不可测量》（*The Mismeasure of Man*）一书来回击《论人性》。《人的不可测量》（如威尔逊的书一样）针对的是大众读者。该书目标明确、言辞有力地对生物决定论的一个具体实例予以驳斥："智慧的抽象性"是生物层面上被决定的品质，将它"量化"为一个数字（这多亏了智商测试的日益普及），并"利用这些数据来给人排名"，这是在生物层面上决定的"一系列价值"。

除了批判智商测试，这番论辩还有更重要的目的：古尔德的这番话意在对威尔逊书中所称颂的生物决定论和学科还原论进行批判。"《人的不可测量》的根本目的，并不是探讨错误的生物学论点在社会背景下所带来的整体道德水平的堕落，"他在序言中写道，"它甚至也不是在探讨一系列将人类不平等性归因于基因基础的错误观点。"（这明显是对《社会生物学》的一击。）相反，

> 《人的不可测量》探讨的是一种对人进行等级分类的量化观点：该观点认为智商可以被抽象为一个有意义的数字，并可以根据该数字按照人所固有的、不可改变的智力价值来对所有人进行线性排序。很幸运——我的这个决定是有意图的——这个有限的主题代表的是一种最严重的（也是最普遍的）哲学错误，对社会造成了最根本的、最深远的影响，它代表了关于天性和后天养成的令人困扰的大主题……20多年来，我每个月都为《博物学》杂志撰写一篇文

章，如果让我说出从中学到的一点，那就是我理解了通过个别来认识一般的力量。(注)

同威尔逊一样，古尔德也遭到了一些人的攻击［“每一页所充斥的事实错误都比我所读过的所有书的错误都要多。”著名心理学家汉斯·艾森克（Hans Eysenck）指责说。艾森克本人相信智力是以基因为基础的］，同时也得到了一些人的赞扬（1982年，该书获得了美国国家书评奖）。战线——双方的——都已经拉开。(注)

但他们或多或少还是位于相同的位置。21世纪，我们仍旧可以听到进化科学家和特创论者之间的争辩（至少在美国如此）。但是，生物决定论者与反对决定论的进化生物学家之间的斗争则影响更大且更为复杂。1997年，古尔德气愤地抱怨“达尔文主义的核心思想”，即用自然选择来解释**一切**生命现象。将人类仅仅视为“为了成功繁殖而努力的”基因，对古尔德而言，是“一种超达尔文主义的观点，我认为它是对达尔文天才的激进意图的夸张；逻辑上是错误的，本质上是愚蠢的”。(注)

古尔德和他的追随者们都认为还有其他因素在起作用——并不是神灵的干预，而是众多彼此重叠的因素；这些因素非常复杂，因而不能简单地以基因的存活概括。人类智慧的进化无疑是因素之一，但此外还有更多。2002年，古尔德在因癌症辞世之前断言：

在我们所生存的世界中，有机体的设计和生物多样性都非常复杂。在这个世界，有机体特征的进化中，一些是自然选择的结果，自然选择遵循一定运算法则；一些是不加选择的中立的，而这也遵循同样的运算法则；一些则是由于历史上的偶发事件造成的；一些是其他过程的副产品。这样一个复杂多样的世界，其起源又怎么会如此狭隘呢？让我们试一试……一些更重要更有概括性的原因，一

些则是更具体的原因——一切都是为了获得科学的理解，一切也都以一种综合的方式共同运作。注

理查德·道金斯

《自私的基因》

（1976年）

第一版的二手书很容易找到；2006年出版的三十周年纪念版（第三版）中含有更新后的参考书目和一篇新的导言，以及第一版和第二版的序言。

通读全书，但尤其要注意第九章。第九章中，道金斯探讨了文化以及生物化学信息是如何代代相传的。为了给“关于文化传递的单元”拟一个标题（他提出，比如说，“曲子，观点，流行语，时装，制作茶壶或建造拱门的方法”），道金斯将希腊词“*mimeme*”缩写为“*meme*”（模因），并因此为英语创造了一个全新的（现在已经常见了）的词语。

Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press (hardcover and paperback, 1976, ISBN 978-0198575191).

理查德·道金斯，《自私的基因》，牛津大学出版社（精装，平装，1976年，ISBN 978-0198575191）。

Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, 30th anniversary edition, Oxford University Press (paperback and e-book, 2006, ISBN 978-0199291151).

理查德·道金斯，《自私的基因》（三十周年纪念版），牛津大学出版社（平装，电子书，2006年，ISBN 978-0199291151）。

E.O.威尔逊

《论人性》

（1978年）

第一版精装本被广泛使用。2004年修订本中包括了威尔逊撰写的可资借鉴的前言，前言是威尔逊对该书最初的公众接受情况的反思。

Edward O.Wilson, *On Human Nature*, Harvard University Press (hardcover, 1978, ISBN 978-0674634411).

爱德华·O.威尔逊，《论人性》，哈佛大学出版社（精装，1978年，ISBN 978-0674634411）。

Edward O.Wilson, *On Human Nature*, revised edition (with a new preface), Harvard University Press (paperback and e-book, 2004, ISBN 978-0674016385).

爱德华·O.威尔逊，《论人性》（修订本，附带新序言），哈佛大学出版社（平装，电子书，2004年，ISBN 978-0674016385）。

斯蒂芬·杰伊·古尔德

《人的不可测量》

（1981年）

读者可以找到1981年版的平装印刷本的二手书；诺顿出版社出版的修订和扩充版与原书同名，其中包括古尔德完善后的论证，以及自从原稿出版后，他和生物决定论之间数年的交锋。

Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man*, W.W.Norton (paperback, 1981, ISBN 978-0393300567).

斯蒂芬·杰伊·古尔德，《人的不可测量》，诺顿出版社（平装，1981年，ISBN 978-0393300567）。

Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man*, revised and expanded edition, W.W.Norton (paperback and e-book, 1996, ISBN 978-0393314250).

斯蒂芬·杰伊·古尔德，《人的不可测量》（修订扩充版），诺顿出版社（平装，电子书，1996年，ISBN 978-0393314250）。

1. .Albert Rosenfeld, “The New Man: What Will He Be Like?”*Life* 59, no.14 (October 1, 1965): 100.

2. .Michael Ruse and Joseph Travis, eds., *Evolution: The First Four Billion Years* (Harvard University Press, 2009), 579–81; Paul S.Agutter and Denys N.Wheatley, *Thinking about Life: The History and Philosophy of Biology and Other Sciences* (Springer, 2008), 194.

3. .John H.Gillespie, *Population Genetics: A Concise Guide*, 2nd ed.(Johns Hopkins University Press, 2010), xi.

4. .Pierre-Henri Gouyon, Jean-Pierre Henry, and Jacques Arnold, *Gene Avatars: The Neo-Darwinian Theory of Evolution* (Kluwer, 2002), 98.

5. .Connie Barlow, ed., *From Gaia to Selfish Genes: Selected Writings in the Life Sciences* (MIT Press, 1992), 156.

6. .Gouyon, Henry, and Arnold, *Gene Avatars*, 159–60; Barlow, *From Gaia to Selfish Genes*, 156–57.

7. .Steven A.Frank, “The Price Equation, Fisher’s Fundamental Theorem, Kin Selection, and Causal Analysis,” *Evolution* 51, no.6 (August 1997): 1713; Kalyanmoy Deb, ed., *Genetic and Evolutionary Computation* (Springer, 2004), 915; Karthik Panchanathan, “George Price, the Price Equation, and Cultural Group Selection,” *Evolution and Human Behavior* 32, no.5 (September 2011): 369, 371.

8. .Richard Dawkins, *The Selfish Gene* (Oxford University Press, 1976), 1; Barlow, *From Gaia to Selfish Genes*, 195.

9. .Matt Ridley, *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature* (Harper Perennial, 2003), 9; Alan Grafen and Mark Ridley, eds., *Richard Dawkins: How a Scientist Changed the Way We Think* (Oxford University Press, 2007), 7.

10. .Edward O.Wilson, *Letters to a Young Scientist* (Liveright, 2013), 83–85.

11. .Barlow, *From Gaia to Selfish Genes*, 158.

12. .Edward O.Wilson, *The Social Conquest of Earth* (W.W.Norton, 2012), 169; Barlow, *From Gaia to Selfish Genes*, 149–50.

13. .Edward O.Wilson, *Sociobiology: The New Synthesis* (Harvard University Press, 1975), 3.

14. .Ibid., 6.

15. .Elizabeth Allen et al., “Against ‘Sociobiology, ’” *New York Review of Books* 22, no.18 (November 13, 1975), http://www.nybooks.com/articles/archives/1975/nov/13/against-sociobiology.

16. .Edward O.Wilson, *On Human Nature* (Harvard University Press, 2004), xvii.

17. .Ibid., 2, 137, 188, 201.

18. .Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man*, rev.and exp.ed.(W.W.Norton, 1996), 20–21.

19. .Hans J.Eysenck, *Intelligence: A New Look* (Transaction, 2000), 10.

20. .Stephen Jay Gould, *The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould*, ed.Steven Rose (W.W.Norton, 2007), 446.

21. .Ibid., 465–66.

# 第五部分
# 读懂宇宙
# (现实)

---

阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein），《狭义相对论与广义相对论》

（*Relativity: The Special and General Theory*，1916年）

马克斯·普朗克（Max Planck），《量子理论的起源和发展》

（*The Origin and Development of the Quantum Theory*，1922年）

埃尔温·薛定锷（Erwin Schrödinger），《生命是什么？》（*What Is Life?*，1944年）

［埃德温·哈勃（Edwin Hubble），《星云世界》（*The Realm of the Nebulae*，1937年）］

弗莱德·霍伊尔（Fred Hoyle），《宇宙的本质》（*The Nature of the Universe*，1950年）

史蒂文·温伯格（Steven Weinberg），《宇宙最初三分钟：关于宇宙起源的现代观点》（*The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*，1977年）

詹姆斯·格雷克（James Gleick），《混沌》（*Chaos*，1987年）

---

# 25
# 相对论

## 牛顿物理学的局限

我们要求进一步拓展对时空连续体的认识。

——阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein），

《狭义相对论与广义相对论》（*Relativity: The Special and General Theory*，1916年）

在近两个世纪的时间里，宇宙是按照牛顿的理论运转的。

**他的**理论主导了所有关于**宇宙**的探索。真的是针对世界上一切的探索：从太阳系到银河系，比恒星更遥远的河外星系，地球以及地球内部和表面上的东西。牛顿的宇宙受到适用于万物、超越时空的定律的控制。（自然哲学研究第三条规律认为："在我们可实验的范围之内，若某个特性存在于我们所有的实验客体中，那么我们就可以推定，这一特性存在于宇宙万物之中。"）比如，在宇宙的任何角落，引力总是不变的；时间也总是以同样的速度流逝着。运动是**绝对的**；但至少在理论上，我们可以以固定不变的空间（"绝对"空间）中固定不变的点作为参照物来测量运动。宇宙是静止的、无限的，它既没有扩张，也没有收缩（宇宙的扩张和收缩都会改变宇宙定律的作用方式），宇宙也将永远存在。

但从最初开始，就偶有反对之声。

1721年，恰值牛顿的第三版《数学原理》出版前夕，数学家兼哲学家乔治·贝克莱（George Berkeley）对牛顿的**绝对**空间观提出了质疑。贝克莱认为，既然人类只能通过自己的感官来判断时空的变化，所以一切运动都是相对的——一切运动的衡量都必须以我们自身所处的位置，我们的理解为参照。提出“绝对”空间的存在理论上逾越了科学所能界定的范围；这一理论事实上进入了哲学的领域。在论文《论运动》（*De motu*）中，他尖锐地写道：“自然哲学家要安分守己，好好做自己的实验，去得出他自己的运动定律、机械原理等结论；如果他要想对别的领域说三道四，他最好参考一下在该领域更高层次科学中被普遍接受的观点。”

换句话说，牛顿应该专心研究他的数学方程式，至于绝对存在的问题还是留给“更高层次”的哲学科学来探讨吧。贝克莱建议他“把运动当作可感知的现象……并且……悦纳现有的方法”。[注]

然而，在实践中，牛顿的物理学理论取得了胜利——因为它在实际应用中相当成功。

事实上，就连牛顿本人也没有料想到他的物理学理论在实际应用中会这么成功。牛顿的引力定律和运动定律使人类得以十分精确地预测出天体的运动。但另一方面，由于太阳系的引力过于复杂加之各天体之间相互作用，不停变动，引力定律自身不可能无限地适用下去；因此，牛顿似乎认为，上帝会不时地“重置”以保持这微妙的平衡状态。当然，在牛顿看来，最初要让这样一个复杂的系统运行起来，一定要有上帝的参与。在17世纪90年代早期，他曾这样写道：“虽然引力使得行星围绕太阳运动，然而，他们围绕各自轨道所做的横向运动则必须是借助上帝之手而完成的。”在另一封信中，他又写道：“所以说，引力使行星运动，但如果没有神力，行星就不会像如今这样环绕太阳做圆周运动。”[注]

《数学原理》首次面世一个世纪之后，法国数学家兼天文学家皮埃尔-西蒙·拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace）试图通过计算来证明牛顿的物理学理论不仅可以解释太阳系的一切运动，还可以解释其永恒的稳定状态。他最终耗时25年之久，完成了一部长达五卷的著作。

他最终成功了。后来，据说拿破仑皇帝（拉普拉斯曾短期出任拿破仑皇帝的内政部长）曾批判了这部五卷本的《天体力学》（*Treatise on Celestial Mechanics*），因为其中根本没有提到上帝。拉普拉斯是这样回答的：“大人，我并不需要上帝存在这一假设。”[注]

不管这一段对话是否发生过，拉普拉斯的答案都是正确的。但这并不是无神论的宣言，只不过是事实陈述罢了。太阳系不需要借助上帝的手指来回归原位。

事实上，在拉普拉斯另一本较少涉及数学、更畅销的《宇宙体系论》（*System of the World*）一书中，他还指出，上帝的手指从一开始就是多余的。牛顿的引力定律认为，太阳和各行星本是由一团旋转的、由气体颗粒构成的云团相聚而成的，它们互相吸引，聚在一起成为我们如今所见到的形态。哲学家伊曼努尔·康德（Immanuel Kant）在这不久前提出过相似的理论。这是一个非常伟大的理论，难以证明，但是与拉普拉斯一致，对牛顿定律提供了支持：它们完全可以解释整个宇宙。此外，其他的原理或解释都是多余的了。[注]

至少，只有当你远离太阳系，到达宇宙的更神秘的更深处时，牛顿的理论才会失去效用。



但是，尽管第三定律已经存在，牛顿却从未真正将他精心设计的机制延伸应用于宇宙更远的角落。对他来说，“宇宙”就只是**已知**部分的宇宙：恒星、行星以及其他可以观测的、追踪的、绘制成图的天

体。他假定宇宙是无限的；因为在有限的宇宙中，一切都会最终被引力拖向中心；用他的话说：“这一空间之外的物质由于引力的作用，会朝着内部的物质移动，最终落入整个空间的中心，就在这里形成了一个巨大的球状物质团。”但在一个无限的宇宙中，物质颗粒会受到来自各方的均等的作用力，最终形成一种平衡，称之为“稳态”（stasis）。注

万有引力学说认为所有的天体团（恒星、行星、星系）都应在无限的宇宙中近乎平均地分布，但人类借助日益先进的望远镜观测到的天体团是不规则分布的：有的聚成大块儿，有的稀疏分散，有的形成星系团。

而且这些天体团也并非静止的。拉普拉斯去世50年后，英国天文学家威廉·哈金森（William Huggins）断言：相对于地球的位置，恒星在不停地**运动**。奥地利物理学家、基督徒克里斯汀·多普勒（Christian Doppler）此前不久曾表示：当发声物体或接收声波的物体的位置发生变动时，声波的频率就会变化。随后不久，法国研究人员阿曼德·菲佐（Armand Fizeau）又将“多普勒效应”延伸应用于光的波长。哈金森测量了恒星光的变化（“光谱线……的移动”），通过这些数据证明天狼星（以及众多其他恒星）正离我们越来越远，其他一些恒星则正向我们靠近。“总的来说，”他写道，“光谱上显示正逐渐远离地球的恒星……都分布在武仙座（Hercules）正对的那片天空上，而武仙座附近的恒星……则显示正在接近地球。”注

这一运动是难以用牛顿的理论体系来进行解释的。

哈金森通过测量，得到了出人意料的数据；与此同时，数学家卡尔·弗里德里希·高斯（Carl Friedrich Gauss）正在向**一切**测量的基础——欧几里得几何——提出挑战。（欧几里得几何假定宇宙万物都只有三个维度：长、宽、高——分别表示为*x*、*y*、*z*三个轴。）注由于我

们就生活在一个三维世界中，所以凭直觉，人们都赞同欧几里得几何定律。但是高斯认为，无限宇宙的运行规律复杂得很，绝不会仅仅局限于那些三维论者所能理解的简单规律。他曾致信同事海因里希·舒马赫（Heinrich Schumacher），信中写道：“能力有限的人类怎可声称自己可以借助普通的观测方法认识无限的世界。”[注]

高斯研究的是二维几何和曲面几何。（球体的曲度可以通过曲面上的某个单一的点计算得出，这意味着，这个单一的点周围不需要三维空间**围绕**就能发生弯曲——这无疑是与欧几里得定律唱反调。）但是，高斯无法提出一整套理论公之于众，来支撑自己的观点，取代欧几里得几何定律。他曾写信给一位朋友，信中说：“也许只有在来世，我们才能对空间的本质有个更深入的了解，目前我们还做不到。”[注]

但高斯并没有放弃，他把这个艰难的任务交给了他的学生——勤勤恳恳却英年早逝的波恩哈德·黎曼（Bernhard Riemann）。黎曼接过这个挑战，并全身心投入进去；由于工作过度，他的精神一度陷入崩溃。但他还是坚持了下来，于1854年把自己的研究成果展示给了哥廷根大学（University of Göttingen）的教授们。

黎曼提出还存在第四个维度。**第四**维度只可以通过代数方法来描述，无法直观化；它只能通过隐喻的手法来解释，理论物理学家加来道雄（Michio Kaku）就给出了一个相当好的解释：

> 黎曼想象，在一张纸上生存着一种二维生物。但是，他的关键性突破在于把这些书虫放在了一张褶皱的纸上。那么，在这些书虫的眼中，世界是怎样的呢？黎曼认为，它们依旧会认为，它们的世界是平的。因为它们的身体也随纸张褶皱，所以它们永远也不会发现它们所在的世界是扭曲的。但是，黎曼说道，一旦这些书虫试着在这张褶皱纸上四处移动，他们就会意识到有一种神秘的、不可见

的“力量”正阻碍它们，让它们无法直线运动。每次经过纸张的折痕处，它们就会被迫向左或向右运动。注

黎曼随后以我们所在的三维世界代替那张二维的纸，想象三维世界在四维空间中被折出了褶皱。我们可能很难发现我们所在的宇宙是扭曲的。但是，我们能即刻意识到，每当我们试着走直线时，事情总不会那么顺利。我们的步态如醉酒者摇摇晃晃，好像是被一种不可见的力量左右拖拽一样。

第四维度的存在意味着，不管是欧几里得几何定律，还是牛顿的物理学理论，**都没能**真实反映宇宙的模样。第四维度的存在意味着引力、磁场和电并非神秘的、不可见的、作用于物体的“力量”。相反，它们是几何的效应，是由于第四维度的扭曲而造成的。

这为我们观察世界提供了一个惊人的新方法：这一方法迅速吸引了一位数学家的注意，因为计算这些“力量”如何起作用所用的方法要比牛顿物理学理论所提到的计算方法要简单得多。然而，要**计算出**这些数据是一项庞大的工程。黎曼1866年就死于结核病，享年39岁。直到去世之前，他还在努力计算着。

七年后，英国数学家威廉·克利福德（William Clifford）将黎曼为哥廷根大学教师所做的令人振聋发聩的演讲稿译成了英文。这是该演讲稿首次被译成英文并发表在《自然》杂志上。克利福德认为，我们也可以用第四维度的扭曲来简单地解释运动。克利福德写道：“我们所说的**物质运动**这一现象中所发生的，其实就是空间曲度的变化。”注

从数学角度对该理论进行的研究遥遥领先于其实际应用：物理学家和天文学家后来才将该理论应用于现实世界，或用于解释实际的**现象**。但是到了1900年，越来越多的物理学家都认为牛顿的宇宙观正在

走下坡路，剩下来要弄清楚的是，是何定律支配着这个崭新的、非欧几里得的宇宙?

※

1900年，阿尔伯特·爱因斯坦刚刚获得其第一个学术学位［他毕业于苏黎世工业学院（Polytechnical Institute of Zurich）］。跟大多数毕业生一样，他面临着巨大的就业压力。

他曾希望能在学术界找一份工作，从事一些高等研究。但是没能找到任何职位。后来有个朋友主动帮他在位于伯尔尼（Bern）的瑞士专利局拿到了一次面试机会，他接受了。1902年，他成了这里的三级技术专家——一名需要接受培训的专利权审查员。注

这份工作非常适合爱因斯坦，既符合他的秉性（这份工作给人一个安静、独处的环境，这给他足够的思考时间），他所接收的教育也适合这份工作（他的工作是评估专利，其中包括电磁——爱因斯坦非常感兴趣的一个领域）。1905年，他努力寻觅升职成为二级技术专家的机会，并围绕电、磁以及相关的时间、空间和运动等问题撰写了五篇论文。其中有一篇论文专门研究液体中微粒的运动，其他的则研究原子的运动、光的构成等。在其中一篇论文中，他提出了质能转换公式:

$$E = mc^2$$

公式中“$c$”指的是光速。

爱因斯坦认为他在1905年6月30日完成的那篇论文或许具有特殊的意义。尽管从论文标题［《关于运动物体的电动力学研究》（“On the Electrodynamics of Moving Bodies”）］中，很难发现有什么革命性的观点，并且这篇论文只不过是“对时空理论的小修小补”（爱因斯坦致

信朋友时如此写道），但这篇论文则是爱因斯坦对他后来所提出的**狭义相对论**的初步探索。

这篇论文旨在调和两种截然不同的定律的冲突。其一是自伽利略时期就尽人皆知的**相对性原理**。相对性原理是启蒙思想的基石，是经典的培根式假设。相对性原理规定，一个物理学原理在所有的相关参照系中的作用方式必须是相同的。后来，他修改了论文，使之能为普通大众读懂，他用了火车的例子：有一辆火车正沿着铁轨匀速行驶，铁轨旁边是路基。火车的位置相对于路基而言在不停地变动（“转化”），但它没有同时发生转动，这就叫作“一致转化”。如果此时，天上飞过一只乌鸦，乌鸦飞行的路线相对于路基而言同样也是一条直线，也是匀速——这是另一种一致转化。

站在路基上的观察者看到的乌鸦是匀速飞行的，而站在移动的火车中的第二位观察者看到的乌鸦的飞行速度却与第一个观察者看到的**不同**。

如果设路基为“坐标系K”，设火车为“坐标系K′”，可以推断：

> 如果，以K为参照，K′是一个匀速移动却没有转动的坐标系，那么自然现象与K的相对关系遵循的法则与自然现象相对于K′之间的完全一致。注

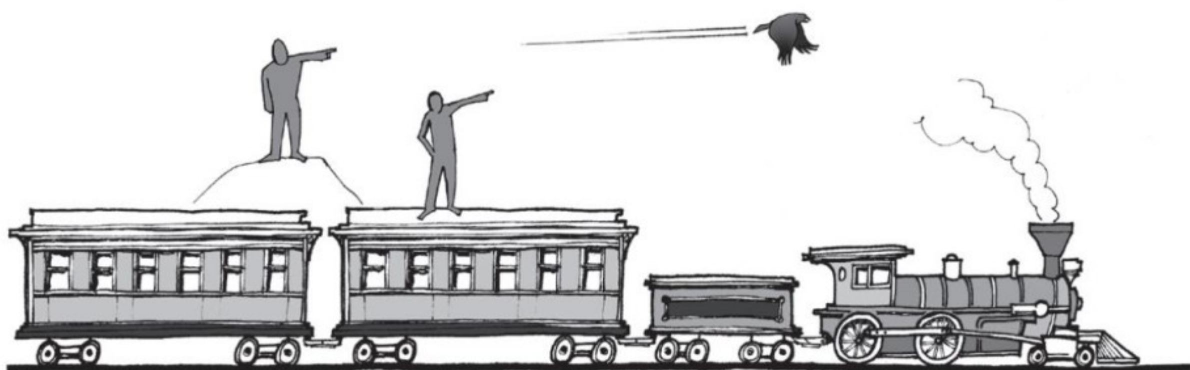


图25.1 爱因斯坦的火车

换句话说，对于两位观察者来说，尽管他们看到的乌鸦似乎是以不同速度飞行，但实际上，乌鸦仍旧是在朝一个方向**匀速**飞行。

非常简单，但是，另一条物理学原理从根本上与相对论原理相矛盾。“没有比这更简单的物理学原理了，”爱因斯坦写道，“即……光在真空中……以$c$ = 300 000千米/秒的速度直线传播。”19世纪80年代初，物理学家阿尔伯特·迈克尔逊（Albert Michelson）和化学家爱德华·莫雷（Edward Morley）发现光在真空（空气、水以及其他的透明介质都会降低光的传播速度）中匀速传播，自那之后，这一规律就被反复地验证。“让我们假设，”爱因斯坦提出，“这一简单的定律……是完全可以相信的。”那么，问题是什么？㊟

想象一下，铁轨的正上方是真空的，一道闪电出现在铁轨正上方，闪电的方向与乌鸦飞行的方向一致。相对论原理认为，站在路基上的观察者与火车上的观察者所看到的闪电的**速度是不同的**——这就意味着光速**不是**恒定的。

这怎么办呢？似乎在相对论原理与光的匀速传播之间必须舍弃一个；并且，如爱因斯坦所指出的，大多数的物理学家都会舍弃相对论原理（“尽管没有任何实证数据可以驳倒这一条原理”）。但实际上，二者可以**兼得**——只要我们愿意调整自己的时空观。㊟

两位观察者对光速的衡量都是**以秒为单位的**。爱因斯坦认为，变化着的不是每秒内光的运行**速度**——而是秒本身。人们往往假设在宇宙任何一个角落，时间都是恒定的，但实际上，时间根本就**不是**恒定的。随着观察者的移动速度加快，时间本身也会延长或缩短。因此，尽管两位观察者都是在测量光的秒速，但是对于**移动**中的观察者来说，一秒的时间**更长**。时间就是第四维度，就是这里所增加的非欧几里得因素；时间将欧几里得的三维空间转化为四维“时空”。

狭义相对论原理并没有考虑到引力（所以用“狭义”或“限制性”来形容）。但在随后10年中，爱因斯坦致力于引力的研究，试图将引力作用纳入相对论。

到1916年，他断言波恩哈德·黎曼是正确的：引力是一种结果，而非一种力。质量或能量（质能转化公式可以表示出二者的关系）导致时空（理论依据是1905年的狭义相对论）弯曲；沿着曲面自由移动的物体看似在**下落**，实则只是在沿着时空表面“直线”移动。（假想黎曼的书虫并不是在一张褶皱的纸上，而是在一个橡皮球的表面；书虫无法感知其所在宇宙的曲度，它顺着球面爬行以为自己是在直线爬行，但是，置身其外的观察者看到书虫是在向下移动的。）

可以用太阳——质量最大的物体——所带来的效应来检验该理论。相对论可以解释一个现存的问题：水星的近日点，即水星轨道上离太阳最近的那个点，在此前的数世纪中一直在**移动**，或“进动”了；但是移动的距离太大，因此无法用其他星球的引力来解释它。爱因斯坦的新理论可以对它做出解释。

但还有另一个试验，该试验可以**预测**一个现象。如果爱因斯坦是正确的，那么，恒星的光就会被“拉”向太阳；星光会因为太阳的质量而发生明显的弯曲，这一点应该能够观测得到。

只有在日全食发生的时候，才能检验这个理论。1916年，《广义相对论》（*The General Theory of Relativity*）一书出版；但是直到1919年，英国天文学家亚瑟·埃丁顿（Arthur Eddington）在一次日全食中进行了数据的测量，爱因斯坦的预言才得到了证实。埃丁顿的计算结果表明，星光经过太阳的时候会改变方向，改变的角度与爱因斯坦预测的一模一样。

广义相对论告诉我们培根式的观察有其局限性；我们所见到的不一定是真的；常识会让我们误入歧途；虽然我们不能无视感官，但要

知道，感官也会欺骗我们。“科学不单单是一些定律的集合，”20年后，爱因斯坦写道，“它是人类智慧的创造，源于人类无边无际的想象。物理学理论试图勾勒出一幅现实的图景，并建立其自身与广大的、可感知的世界之间的联系。因此我们应该思考的是我们的理论是否已经形成了这种联系以及如何形成这种联系。”注

埃丁顿的数据将爱因斯坦的智慧的“创造”，即广义相对论，与世界联系了起来。黎曼的几何学理论也已被应用于描述实际的感官感知；物理学赶超了抽象的数学，并改变了我们对现实的认识。

阿尔伯特·爱因斯坦

《广义相对论》

（1916年）

除了方程式，爱因斯坦论文的其他部分清晰、简明，甚至是缺乏专业数学知识的人也能读懂。以下版本有几种不同的形式可供选择，但其中罗伯特·W.罗森（Robert W.Lawson）1920年的英译本的资源最多；大多数版本中都包含了爱因斯坦对狭义相对论所做的发现的总结。建议读者能把两个版本都读一读，因为广义相对论是建立在狭义相对论基础之上的。

Albert Einstein, *Relativity: The Special and the General Theory*, trans.Robert W.Lawson, with introduction by Roger Penrose, commentary by Robert Geroch, and historical essay by David C.Cassidy, Pi Press (hardcover, paperback, and e-book, 2005, ISBN 978-0131862616).

阿尔伯特·爱因斯坦，《狭义相对论与广义相对论》，译者罗伯特·W.罗森，包含罗杰·彭罗斯的导言、罗伯特·杰拉奇的评注以及

戴维·C.卡西迪的史论，Pi Press（精装，平装，电子书，2005年，ISBN 978- 0131862616）。

1. 高斯提出的挑战所涉及的数学知识远远超出了本书的讨论范围，没有专业知识的读者可以在伊莱·马奥尔（Eli Maor）的《无限之外——无限宇宙文化史》（*To Infinity and Beyond: A Cultural History of the Infinite*，普林斯顿大学出版社，1991年）一书中找到可资借鉴的解释（该书包括许多数字和插图）。

2. .Eric Voegelin, *History of Political Ideas*, vol.6, *Revolution and the New Science* (University of Missouri Press, 1998), 194–95; Nick Hugget, ed., *Space from Zeno to Einstein: Classic Readings with a Contemporary Commentary* (Bradford Books, 1999), 182; George Berkeley, *De motu: Sive de motus principio & natura et de causa communicationis motuum*, trans.A.A.Luce (Jacobi Tonson, 1721), sec.66.

3. .Isaac Newton, *Newton: Philosophical Writings*, ed.Andrew Janiak (University of Cambridge Press, 2004), 100–101.

4. .Ioan James, *Remarkable Physicists: From Galileo to Yukawa* (Cambridge University Press, 2004), 69; Charles Coulston Gillispie, *Pierre-Simon Laplace, 1749–1827: A Life in Exact Science* (Princeton University Press, 2000), 273.

5. .Edward Harrison, *Cosmology: The Science of the Universe*, 2nd ed.(Cambridge University Press, 2000), 70.

6. .Newton, *Philosophical Writings*, 94; Harrison, *Cosmology*, 60–61.

7. .Harrison, *Cosmology*, 76; William Huggins, *The Scientific Papers of Sir William Huggins* (W.Wesley and Son, 1909), 221.

8. .Eli Maor, *To Infinity and Beyond: A Cultural History of the Infinite* (Princeton University Press, 1991), 131.

9. .Ian Stewart, *In Pursuit of the Unknown: 17 Equations That Changed the World* (Basic Books, 2012), 16–17; Jeremy Gray, *Plato's Ghost: The Modernist Transformation of Mathematics* (Princeton University Press, 2008), 48.

10. .Michio Kaku, *Hyperspace: A Scientific Odyssey through Parallel Universes, Time Wars, and the 10th Dimension* (Oxford University Press, 1994), 36.

11. .Ibid., 338.

12. .Peter Galison, Michael Gordin, and David Kaiser, eds., *Science and Society: The History of Modern Physical Science in the Twentieth Century* (Routledge, 2001), 216.

13. .Albert Einstein, *Relativity: The Special and General Theory*, trans.Robert W.Lawson (Pi Press, 2005), 19.

14. .Ibid., 25, 28.

15. .Galison, Gordin, and Kaiser, *Science and Society*, 223; Jay M.Pasachoff and Alex Filippenko, *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium*, 4th ed.(Cambridge University Press, 2014), 239–40, 271–72.

16. .Pasachoff and Filippenko, *Cosmos*, 240, 274; Albert Einstein and Leopold Infeld, *The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta* (Cambridge University Press, 1938), 310; Maor, *To Infinity and Beyond*, 133.

# 26
# 讨厌的量子跃迁

## 亚原子粒子随机转弯的发现

量子……（将会）在物理学中扮演重要的角色，宣告物质新的状态的出现，注定要……彻底改变我们的物理学观念。

——马克斯·普朗克（Max Planck），

《量子理论的起源和发展》（“The Origin and Development of the Quantum Theory”，1922年）

量子理论的伟大发现，也就是在自然这本书中发现了分离这一性质；然而，在当时的语境下，除了连续性以外的其他状态看起来都是荒谬的。

——埃尔温·薛定锷（Erwin Schrödinger），

《生命是什么？》（*What Is Life?*，1944年）

阿尔伯特·爱因斯坦的头脑中充满了奇思妙想。他可以构想出无形的空间弯曲；他可以构想出与自己所生存的三维空间现实完全不同的时空连续体；他也能进行跨越式的想象，想象出在某个世界中，时间很慢，慢到了要停滞。

但他无法接受量子跃迁。“我真的无法相信它的存在。”他在给朋友马克斯·博恩（Max Born）的信中写道。此前不久，博恩刚刚因为他在量子力学方面的研究获得了诺贝尔奖。“这个理论跟物理学要反映时

空现实这一原则不相容，勉强使之相容也会带来讨人厌的长距效应。”注

※

“讨人厌的长距效应”只不过是20世纪初期发展起来的量子物理学的一个分支。但所有的量子物理学拥有同一个深入的根基：化学家和物理学家对原子性质的研究。

希腊哲学家留基伯和德谟克利特率先提出了原子论，他们认为万事万物都是由微小的粒子——**原子**（atomos，意即“不可分割物”）组成的，它们小到肉眼无法看见。由于缺乏证据，这个观点只能被当作众多假设之一。17世纪，罗伯特·波义耳的实验表明：中世纪时的原子理论，即认为世界是由微粒构成的，更有可能是正确的而不是错误的。但又过了150年，化学家约翰·道尔顿（John Dalton）在许多科学家［比如约瑟夫·布莱克、亨利·卡文迪什、约瑟夫·普里斯特利和安托万·拉瓦锡（Antoine Lavoisier）］所做的气体实验的基础上，肯定地重申了该理论。道尔顿认为，原子是不可分割的；不同的原子质量不同，此外，由一类原子所组成的物质就是元素。不同的原子组合在一起就会产生化合物。

道尔顿所提出的不可分割的原子是一种非常简单的实心粒子，但是在19世纪最后25年中，许多物理学家——其中包括剑桥大学的约瑟夫·汤姆森（Joseph Thomson）、莱顿大学的彼得·塞曼（Pieter Zeeman）、波恩大学的沃尔特·考夫曼（Walter Kaufmann）以及哥尼斯堡大学的埃米尔·维谢尔（Emil Wiechert）——都认为阴极射线（低压电子管所发射出来的可见光束）的行为只有通过假设原子**内部**存在更小的粒子才能得到最佳解释。两位爱尔兰物理学家，乔治·斯托尼（George Stoney）和他的侄子乔治·菲茨杰拉德（George Fitzgerald），将原子内部更小的粒子命名为**电子**：基本的带电粒子，带有负电荷。

严格意义上讲，这算不上“电子的发现”，尽管教科书上通常是这么写的。正如科学哲学家西奥多·阿拉巴齐斯（Theodore Arabatzis）所指出，原子并不是像石下虫子那样的“可见的实体”，因此，电子或原子的存在依旧没有确凿的证据。而原子理论就是要通过提出可能的原因来解释可见的现象（比如星光在经过太阳时改变方向）。但这些提议大多是假设。这些假设被重视的程度取决于以它们为**基础**的数学模型在多大程度上能准确地预测出可见的物理现象。但这些假设得不到证实——至少肯定不是按照弗朗西斯·培根的模式所进行的印证。实际上，理论物理学家马克斯·普朗克（Max Planck，他后来率先提出了量子理论）表达了自己对电子的质疑；20世纪初，他仍旧没有“完全相信该理论”。㊟

但在接下来10年左右的时间里，以原子理论的各方面为基础的运算得到了惊人的精确结果。在阿尔伯特·爱因斯坦1905年的一篇论文［《热的分子运动论所要求的静液体中悬浮粒子的运动》（“On the Motion of Small Particles Suspended in Liquids at Rest, Required by the Molecular-Kinetic Theory of Heat”）］中，他提出了一个数学公式，该公式通过将在液体中做明显不规则运动（即1827年由罗伯特·布朗发现的“布朗运动”）的粒子与假想的原子的运动联系起来，从而预测出液体粒子的性质。㊟

理论上，根据爱因斯坦的运算可以估算出给定物质中的原子数量，但他的数据一直未曾被证实过；直到1908年，法国物理学家让·佩兰（Jean Perrin）进行了两组实验，证明爱因斯坦的数据是正确的。佩兰因此获得了诺贝尔奖，也得到了爱因斯坦的感激。“这项课题能够由你来进行研究，我真是太幸运了。”第二年，爱因斯坦对佩兰说道。佩兰的研究也向大多数物理学家证明，原子的存在不再仅仅是个推测了。“最近，原子假设已经有了足够的真实性，不再被仅仅认为是一个假设了。”另一位法国物理学家亨利·庞加莱（Henri Poincaré）写

道，“原子不再只是一个有用的虚构之物；我们完全有理由称我们可以看到它们，因为我们已经可以计算它们的数量了。”(注)

接下来的一个重要问题是原子的**结构**。约瑟夫·汤姆森曾推测（没有任何证据）一个原子就像一个葡萄干布丁一样，电子（“微粒”）在其中平均分布。问题是，正如他所看到的，电子全部都是带负电荷的，但是原子呈电中性。(注)“当它们聚集在一个中性的原子中，”他写道，明显是在纠结于缺失的那一块答案，“负电荷的作用被**某些物质**抵消掉了，这些物质使得微粒所存在的那个空间中好像有一些与负电荷电量相等的正电荷一样。”(注)

让·佩兰推测，在原子中存在另一种粒子：

> 每个原子都包括：一方面，一个或多个带正电荷的大块物质——相当于一个带正电的太阳，其所带电荷远远超过了一个粒子的电荷——另一方面，原子还包括无数的粒子，它们的作用就像小型的带负电荷的行星一样，在电的作用下绕轨道运转，它们的负电荷总量与正电荷总量均等；因此，原子就呈现出了电中性。(注)

这里，我们的太阳系是一个强大而吸引人的喻体；它使汤姆森的观点看似不无道理，模糊的“某种物质”也许是一个带正电荷的原子核，电子围绕着它旋转。但是佩兰认为，这不过是众多可能的模型之一而已；只不过是一种假说，没有验证，且无法证明。

一位年轻的德国物理学家汉斯·盖革（Hans Geiger）提出对原子核的另一种看法。与他一同工作的有两位同事——杰出的欧内斯特·卢瑟福（在本书第16章中提到过他，他估算了放射性矿物的年龄）和一位非常年轻的物理学学生恩斯特·马斯登（Ernst Marsden）——他发明了一种可以**计算**出衰变中的元素所脱离的粒子数量的仪器。“盖革计数器”用于测量辐射量，但盖革和马斯登注意到了一些奇怪的现象：如果

让粒子穿过各种金属薄板，他们的**运动方向就会改变**，而这种改变是无法用随机运动来解释的。其中一些粒子甚至会被弹回去。

“这太惊人了。”卢瑟福在分析这些观测结果时说道。金属薄板原子中的某些物质似乎与那些粒子发生碰撞，并将它们反弹到不同的运动轨迹上。根据汤姆森的“葡萄干布丁”模型，粒子应该是按照它们的路径直接穿过原子，就好像是铅弹穿过了布丁一样；卢瑟福则断定，原子必定要包括比电子质量更大的物质，质量大到可以使粒子转向。他在1911年的论文中提到，这就是“一个压缩为一个点的中央电荷，电量相当的相反电荷在其周围呈球状均匀分布”。根据“卢瑟福原子模型”，卢瑟福能够预测出穿过原子的粒子的运动轨迹——这证明了每个原子都有一个原子核，电子围绕原子核运动。㊟

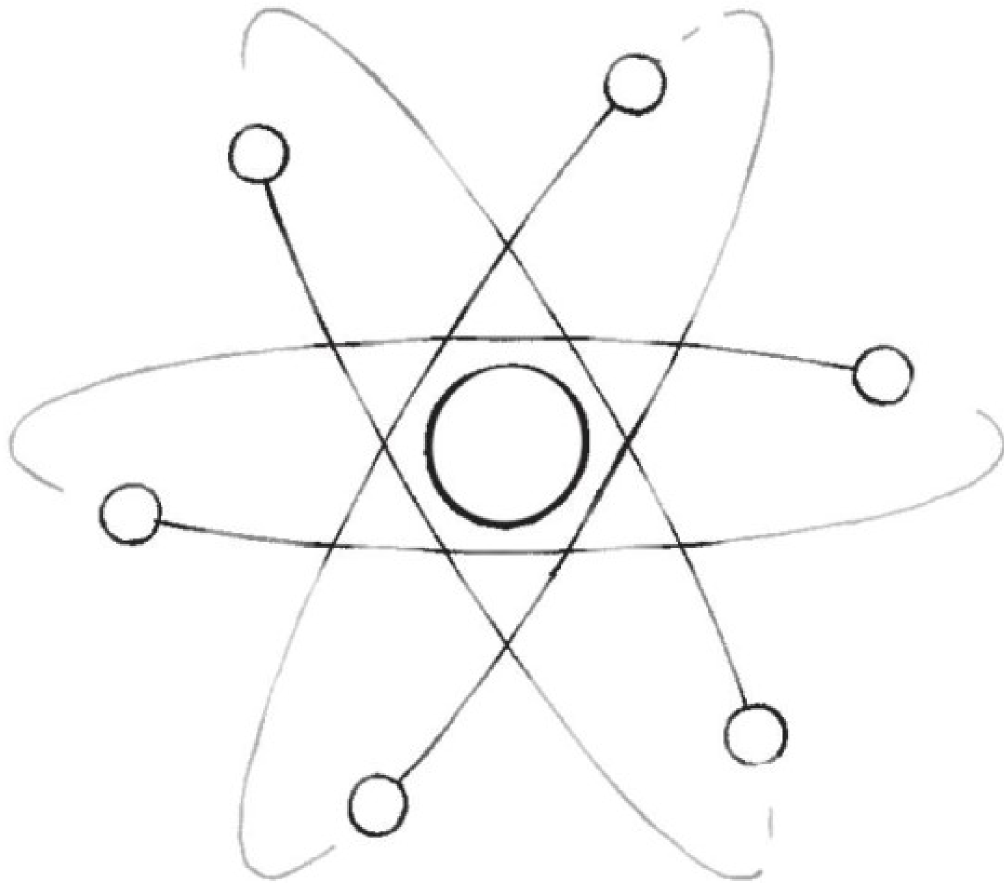


图26.1 卢瑟福原子模型

这个模型简明易懂。它还完美契合了柏拉图式思维的特性：宇宙中最小的粒子映射出了太空中庞大的行星运动。一个多世纪后，卢瑟福原子模型仍旧是每个化学专业的学生看到的第一幅图。

但是，这个模型后来被证明也是错误的。在一定程度上是错误的。



十年前，物理学家马克斯·普朗克一直在研究“黑体辐射”，即能够吸收入射的电磁辐射的物体发出的辐射。（假设中理想的黑体，可以将入射的电磁辐射**全部**吸收。）为了能准确地**预测出**黑体辐射的变化，普朗克发现，他必须要考虑能量的属性。

根据所有已知的物理学理论，能量是以波的形式存在的。黑体所辐射出的能量应该是平稳的、均匀的、一致的。但是，普朗克的计算结果仅仅适用于当能量**一块一块地**——不是以波的形式，而是分散的单元——喷射出去的情况。如果可以将能量视为彼此分离的粒子［普朗克称这些假设的粒子为“量子”（*quanta*），来自拉丁词“*quantus*”，意为“多少”］普朗克就提出了一个公式（即普朗克常数），该公式可以对辐射做出完美的解释。

但普朗克对这个答案并不满意。如果**量子**是岩石一般大小，我们就能看见它连续跳跃着、而非平滑地向前移动；这一运动方式似乎与一些最基本的物理学和力学原理相矛盾。30年后，普朗克回顾了他首次提出“量子跃迁”的过程，他在给一位朋友的信中写道：“我所做的不过是孤注一掷的努力罢了……我很清楚，经典物理学无法解决这个问题……（因此）我已准备好为此否定我此前对物理学理论所做的一切断言。”但他发誓要寻找一个更令人满意的答案，直到找到为止；就他所知，量子“只是一种形式上的假设”，是一种数学上的帽子戏法，巧

的是得出了正确的答案。而普朗克本人就像几个世纪前的科学家们，只不过是在“拯救现象”。㊟

四年后，爱因斯坦在1905年的一篇论文中利用普朗克的研究对此前一些费解的光的性质进行了解释。“如果用一句话来概括量子理论的核心思想，”爱因斯坦后来写道，“我们可以说：**至今为止，我们必须认为那些具有连续性的物理量都是由基本的量子构成的。**”1905年，爱因斯坦做出理论推论，也许光不是一种简单的连续的波，也许它也是由单个的粒子组成的。㊟

与普朗克一样，爱因斯坦将**量子**视为一种理论建构，只是一时的技术性的解决方式，而非物理现实的图景。但是，随着量子理论可以对越来越多的现象进行解释，它就显得越来越“真实”。

1913年，年轻的丹麦物理学家尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）借助量子理论，解决了一个原子层面上的难题。这个问题关注的是卢瑟福原子模型的稳定性；根据卢瑟福原子模型，假想的电子就像环绕地球的卫星一样。如果环绕地球的卫星失去了一部分的能量，它就会螺旋下降并坠毁。那么当原子发射出能量时（比如说，氢原子就能发射出被物理学家称为“光子”的粒子），为什么电子还能正常地绕原子运动而不坠毁呢?

玻尔提出，这是因为电子运动的轨道不是连续的圆。它们是**量子化的**：电子不会在原子空间内部平滑地移动，而是在不同的位置之间跳跃。当氢原子发射出一个光子，电子就会失去能量，但是电子不会螺旋下降，而是“跳跃”到一个更低的运行轨道上，在这个轨道上，电子可以以更低的能量保持稳定运行。高低两个轨道之间的能量差是可以计算出来的。这个能量差与原子辐射出的能量**恰好**等同。㊟

爱因斯坦对玻尔的结果表示赞扬，但在随后10年左右，他和其他物理学家越发意识到量子力学所蕴含的物理学图景是多么匪夷所思。比如说，根据新的“玻尔-卢瑟福模型”，电子可以在轨道间进行“量子跃迁”，而不是在连续的空间中平滑地运动。也就是说，在跳跃的同时，电子……哪儿都不在。

而这仅仅是将量子理论应用于解决现有物理学问题时出现的一个悖论。1922年，马克斯·普朗克在诺贝尔奖获奖演讲中说道，原子理论有潜力“彻底改变我们的物理学观念”，这对于整个物理学界来说可是一个大大令人不快的事。[注]



1926年10月，奥地利物理学家埃尔温·薛定锷（Erwin Schrödinger）来到玻尔的故乡哥本哈根，亲自与波尔探讨这些困扰。

薛定锷比玻尔年长两岁，在学术界德高望重。他将继任马克斯·普朗克，担任柏林大学理论物理学教授；那时，他刚刚发表了自己的量子理论，这一理论坚持要以波的形式来对物理现象进行描述。薛定锷肯定了量子理论在解决问题上的价值，但是，他对脱离波来讨论问题表示担忧。没有波，电子就没有确定的**路径**，就没有在原子空间中的轨迹；电子可以忽而消失，忽而出现，就像咧嘴笑的柴郡猫一样，无法预测出它下一次出现的位置。薛定锷坚称，如果没有波，物理学就会脱离现实，就会与电动力学法则脱离，就会与我们的**经验**脱离。

玻尔也拒不让步。量子跃迁与支配日常生活的普通物理学毫无关系；它们无法被直接感知，但它们并不因此而更不“真实”。据玻尔当时的助手——年轻的德国物理学家沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）所说，薛定锷最后愤怒地说：“如果我们要忍受这讨厌的量子跃迁，那么对不起，我觉得我跟量子理论从未有过任何关系。”[注]

薛定锷回到家，决意要抵制充满随机性和不确定性的量子跃迁。与此同时，海森堡仍旧在哥本哈根，想知道该怎样才能更好地理解量子跃迁。海森堡断言，某个量子跃迁的终点是无法通过计算准确得出的。我们无法准确地预测量子粒子下一次会出现在什么地方；我们只能计算出它下次可能出现的位置的**概率**，只有当粒子**真正**再次出现时，我们才能知道新的位置在哪里。这就产生了一个问题：任何足够敏锐、可以测量粒子的仪器（比如，电子显微镜可以根据发射出电子来判断粒子的位置）必须要用电子打击到再次出现的粒子，而这样一来，粒子的轨道就会变化。一句话说，从实际的角度来说，要准确及时地进行测量某个粒子的位置是不可能的。这个以数学方式描述的结论被称作“海森堡不确定性原理”。注

海森堡又随即指出，对于比分子大的物质，不确定性**很小**。比很小还要小：根本就不存在。只有在亚原子层面，不确定性才对于我们对物质世界的理解起作用。环绕氢原子的原子核移动的电子可能会出乎意料地跳跃，但是在山坡上吃草的羊不会跑到我们根本料想不到的地方。

但这也没有打消薛定锷的疑虑，他坚持时空中的运动是**可以预测**的这一真实性。他的解决方案是以**波动力学**理论代替量子理论。波动力学理论完全改变了玻尔量子理论的思路。薛定锷提出，如果电子的移动不是因为波实际上是粒子——而是因为粒子实际上就是波呢？如果电子本身也不过是波的存在中某个粒子相的表现呢？

后来，阿尔伯特·爱因斯坦以橡皮管类比，解释波动力学理论，晃动橡皮管，使其呈现波动状：

> 我们一手握住一根很长的、有弹性的橡皮管或者一个很长的弹簧的一端，有节奏地上下摆动它，使这一端波动。然后……这个波动就会匀速传遍整根橡皮管，引起橡皮管的波动……

……现在看第二种情况。这根管的两端被固定住……那么，现在在橡皮管一端制造波动会发生什么呢？如同第一个例子，波动会传播开，但很快会被另一端反射回来。我们现在有两种波动：一种是由振荡带来的，一种是由反射带来的；它们方向相反，彼此干涉。要对两种波之间的干涉进行追踪并发现由二者叠加所产生的波——通常被称为**驻波**——并不困难。㊟



图26.2 爱因斯坦的橡皮管

驻波有节点，节点位于波互相抵消的位置。电子绝不是分立的实体，电子随着波形移动，但只有在离节点最远的位置——也就是驻波频率最高的地方——才能看到（**表现出**分离状态）。

从数学角度上说，薛定锷的波动力学理论和玻尔的量子跃迁（后来被称为“哥本哈根诠释”）实际上得出了非常相似的结果。它们之间的本质区别是哲学上的。薛定锷的波动力学理论，不管是什么时候，对于电子的位置所做的预测的准确性都不比玻尔的哥本哈根理论大多少；但是薛定锷坚持这种机械性的解释，虽然该解释与量子跃迁一样无法观察，但仍旧可以模拟出现实世界中可以出现的情况。支持他的有马克斯·普朗克和阿尔伯特·爱因斯坦，爱因斯坦直到去世前还对哥本哈根诠释非常怀疑，也对那些找不到原因的“讨人厌的长距效应”非常慎重。

实际上，爱因斯坦阅读并肯定了薛定锷1935年的论文《量子力学的现状》（“The Present Situation in Quantum Mechanics”）；论文中，薛定锷提出进行一个思维实验，旨在指出哥本哈根诠释是无效的。

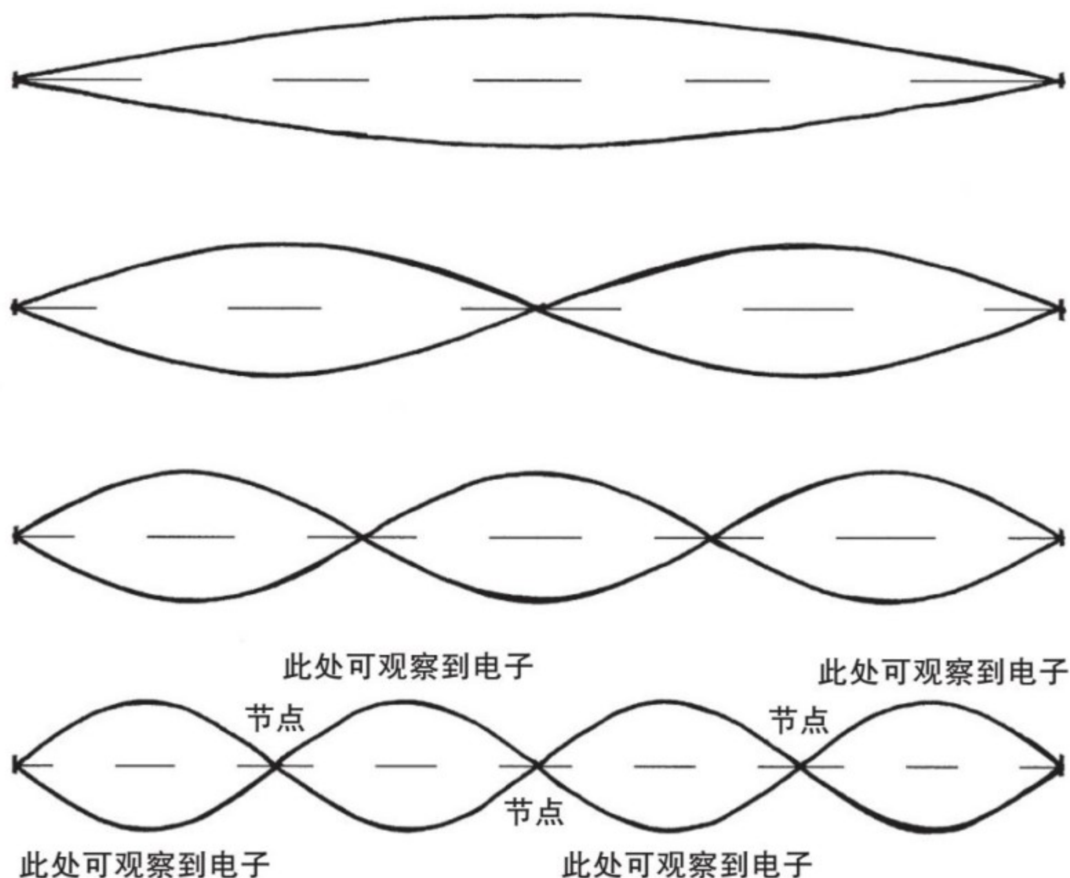



图26.3 爱因斯坦的波动

想象一只猫被关在了铁盒子里，铁盒子中还有以下装置（这些装置必须不受猫的干扰）：在一个盖革计数器（Geiger counter）中有少量的放射性物质，非常少，在一个小时内放射性物质也许会衰变，也许不会，概率各为50%；如果衰变发生了，触动计数器和开关，锤子落下，砸碎一个装有氢氰酸的小瓶子。对整个系统不加以人工干预，放置一个小时后，我们就会说，如果原子没有衰变，那么猫还活着。整个体系体现了薛定锷波函数，即表现为猫处在一种生与死相叠加、彼此概率相等的状态（请原谅我的措辞）。

这个案例非常典型，从本局限于原子领域的不确定性转移到宏观不确定性，后者可以直接观察到。这阻止我们天真地接纳并认同“模糊的模型”是正确的，并认为它可以代表现实。就其本身而

> 言，无法代表任何模糊或彼此矛盾的事物。一张拍花了、没有成功聚焦的照片与一张对着云或浓雾弥漫的河岸拍摄的照片是不一样的。[注]

换句话说，薛定锷仍旧认为，量子理论不能简单地被这么轻易地放在一个被称为“亚原子”的柜子中与世隔绝。量子理论传达给我们的关于电子运动的任何信息，都应该适用于现实世界。

爱因斯坦同意这个观点。在阅读了薛定锷论文的初稿后，爱因斯坦写信给他：“你的猫告诉我，我们俩的观点完全一致……（一个盒子）装着一只既死同时也活的猫，这不能被当作一种对现实世界的解释。”[注]



30年前，根本就没有量子理论，而如今却有两种有力的、拥有有力证据的量子理论，且各有众多追随者。

根据两种理论的冲突，1944年，薛定锷撰写了《生命是什么？》（*What Is Life?*）一书。薛定锷在书中探讨了量子物理学与生物学的重叠，以及对我们自身的研究与对宇宙研究的共同基础。薛定锷用量子理论来解释电子的移动，展示出这一运动是如何影响化学键的形成以及这些化学键是如何影响细胞、基因以及进化生物学的。

与朱利安·赫胥黎和恩斯特·迈尔的书一样，《生命是什么？》是一个综合体——试图揭示量子理论并非全部关于讨人厌的长距效应。只要看看有多少物理学家在读了这本书之后受到启发并开始从事生物学研究，就知道这本书有多成功了。“无疑，如果没有《生命是什么？》，分子生物学也会有所发展，”薛定锷的传记作家沃尔特·摩尔（Walter Moore）写道，“但发展速度会更慢，并且也不会出现这么多

杰出的人物。一篇简短的、半专业半科普性质的书催化了一个伟大的研究领域在未来的发展，这在科学史上仅此一例。”(注)

“半专业”是一个非常准确的描述，《生命是什么？》并不是量子理论在20世纪的开拓性成果。纯量子理论基本上只有物理学家才能理解。事实上，物理学有成为阳春白雪的危险，物理学的发现通常都以高深的数学语言进行表达，极少数人能读懂。

但是薛定锷认为，量子力学**必须**要能解释我们感官可接触到的现实。迟早，量子力学会影响那只猫的。

### 马克斯·普朗克

### 《量子理论的起源和发展》

### （1922年）

普朗克简短的诺贝尔奖获奖演讲为读者一窥量子理论的发展和早期方向提供了有趣的视角。英译本原本由H.T.克拉克（H.T.Clarke）和L.萧伯斯坦（L.Silberstein）合译，可以在网上找到，也有平装的再版本。

Max Planck, “The Origin and Development of the Quantum Theory,” trans.H.T.Clarke and L.Silberstein, Clarendon Press(e-book, 1922; paperback reprint available from Forgotten Books, 2013, ISBN 978- 1440037849).

马克斯·普朗克，《量子理论的起源和发展》，译者H.T.克拉克和L.萧伯斯坦，克拉伦登出版社（电子书，1922年；福高腾图书平装本，2013年，ISBN 978-1440037849）。

### 埃尔温·薛定锷

《生命是什么？》

（1944年）

标准版由剑桥大学出版社出版，其中包括了薛定锷关于意识的短篇文章《意识和物质》（“Mind & Matter”）。

Erwin Schrödinger, *What Is Life?: The Physical Aspect of the Living Cell; with“Mind & Matter”; &* “Autobiographical Sketches,” Cambridge University Press (paperback and e-book, 1992, ISBN 978-1107604667).

埃尔温·薛定锷，《生命是什么？——活细胞的物理面貌》，包括《意识和物质》和《自传概述》两篇文章，剑桥大学出版社（平装，电子书，1992年，ISBN 978-1107604667）。

1. 对于那些对精确性有更高要求的人：尽管爱因斯坦的计算从表面上看是关于分子运动的，但他的结论实际上还影响了两种与原子理论直接相关的计算法，即阿伏伽德罗常数（Avogadro’s Number）和玻尔兹曼常数（Boltzmann’s Constant）。阿伏伽德罗常数用于计算一定单位物质中的原子数量，玻尔兹曼常数可用于预测那些原子所带有的热能。更全面的解释，请参考约翰·S.里格登（John S.Rigden）的《1905年的爱因斯坦——伟大之标准》（*Einstein 1905: The Standard of Greatness*，哈佛大学出版社，2005年）第57页之后的内容。
2. 这个说法并非完全正确；原子整体上并不是呈电中性的，但汤姆森认为原子是呈电中性的，并由此得出了后续结论。
3. 布鲁斯·罗森布拉姆（Bruce Rosenblum）和弗莱德·库特纳（Fred Kuttner）的《量子之谜——当物理学遇上意识》（*Quantum Enigma: Physics Encounters Consciousness*）第二版（牛津大学出版社，2011年）一书第55页之后的部分对普朗克的研究进行了更专业而且相当易读的阐释。
4. .Albert Einstein, quoted in Franco Selleri, *Quantum Paradoxes and Physical Reality: Fundamental Theories of Physics* (Kluwer Academic, 1990), 363.
5. .Theodore Arabatzis, *Representing Electrons: A Biographical Approach to Theoretical Entities* (University of Chicago Press, 2006), 56, 61–62; Max Planck, *The Origin and Development of the Quantum Theory*, trans.H.T.Clarke and L.Silberstein (Clarendon Press, 1922), 5.

6. .John S.Rigden, *Einstein 1905: The Standard of Greatness* (Harvard University Press, 2005), 68–69.

7. .Bernard Fernandez, *Unravelling the Mystery of the Atomic Nucleus: A Sixty-Year Journey, 1896–1956*, trans.Georges Ripka (Springer, 2013), 57–58.

8. .Ibid., 58.

9. .Ibid., 73; Ernest Rutherford, *The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson* (Interscience, 1963), 2: 212.

10. .Vern Ostdiek and Donald Bord, *Inquiry into Physics* (Cengage Learning, 2007), 316–17.

11. .Bruce Rosenblum and Fred Kuttner, *Quantum Enigma: Physics Encounters Consciousness*, 2nd ed.(Oxford University Press, 2011), 59–60; M.S.Longair, *Theoretical Concepts in Physics: An Alternative View of Theoretical Reasoning in Physics*, 2nd ed. (Cambridge University Press, 2003), 339.

12. .Albert Einstein and Leopold Infeld, *The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta* (Cambridge University Press, 1938), 251.

13. .Longair, *Theoretical Concepts in Physics*, 381–83; Einstein and Infeld, *Evolution of Physics*, 267.

14. .Planck, *Origin and Development*, 12.

15. .Walter J.Moore, *A Life of Erwin Schrödinger* (University of Cambridge Press, 1994), 163; John Gribbin, *Erwin Schrödinger and the Quantum Revolution* (John Wiley & Sons, 2013), 110.

16. .T.J.Rice, *Joyce, Chaos, and Complexity* (University of Illinois Press, 1997), 152–53.

17. .Einstein and Infeld, *Evolution of Physics*, 273–74.

18. .Erwin Schrödinger, "The Present Situation in Quantum Mechanics," trans.John D.Trimmer, *Proceedings of the American Philosophical Society*, November 29, 1935, 328.

19. .Gribbin, *Erwin Schrödinger*, 133.

20. .Walter J.Moore, *Schrödinger: Life and Thought* (Cambridge University Press, 1992), 404.

# 27
# 宇宙大爆炸的胜利

## 回到宇宙起源的问题，并思考其终点

星云都在飞速远离银河系，距离越远，速度越快。

——埃德温·哈勃（Edwin Hubble），

《星云世界》（*The Realm of the Nebulae*，1937年）

我发现，我不得不做出这样的假设：宇宙的本质就是不断地创造——永久地、持续地形成新的背景物质。

——弗莱德·霍伊尔（Fred Hoyle），

《宇宙的本质》（*The Nature of the Universe*，1950年）

宇宙之初，发生了一场爆炸。

——史蒂文·温伯格（Steven Weinberg），

《宇宙最初三分钟——关于宇宙起源的现代观点》（*The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*，1977年）

量子物理学家愈发洞察事物之内，而天文学家则愈发展望天空之外。

爱因斯坦的研究再一次推动了新研究的建立和发展。如果广义相对论是正确的，那么就会出现三种直观的现象：第一，水星的近日点会随时间不断地移动，且每次移动的角度都是确定的；爱因斯坦本人已经证实过这一点了。(注)第二，星星经过太阳时，星光会变弯曲；1919年，亚瑟·埃丁顿测量了星光的弯曲度。

第三，出现了预见到的红移。

在爱因斯坦发表相对论之前40年，英国天文学家威廉·哈金森通过星光波长的变化，证实了恒星都在移动，有的向地球移动，有的则远离地球——这就是多普勒效应在视觉上反映出的现象。(注)如果爱因斯坦的广义相对论是正确的，天文学家应该能够从由巨大天体（如太阳）发射的光线中捕捉到一种**特别的**波长变化。质量会弯折时空，这就意味着，光粒子的移动非常**艰难**——就好像粒子是在费力地攀爬一面光滑的、弯曲的墙，而不是在一个水平平面上顺畅地滑行那样。因为粒子耗费了更多的能量（实际上是移动了更远的距离），它们的辐射频率随之下降——在视觉上的表现，就是向光谱的红端移动。

捕捉到“红移”不是一件简单的事情，正如爱因斯坦本人所说。“将太阳光的光谱线与相应的地球辐射光的光谱线做比较，会发现，前者更接近红端，”他写道，“（但是）很难判断，我们所推断的引力可能造成的影响是否真正存在。”1916年之后的几十年里，为了证实太阳光和金星光的光谱都发生了红移，科学家做了不计其数的尝试，但是，他们对数据的诠释各执己见。“对爱因斯坦的太阳光红移观点是支持还是反对，这是一个艰难的决定，其艰难根源于证据本身的两面性。”英国天文学家约翰·埃弗谢德（John Evershed）于1919断言。毕竟，红移会受到压力、温度或者（如哈金森所证实）移动的影响。(注)

关于红移的争议以及没有说服力的数据困扰了爱因斯坦的相对论数年之久。与此同时，红移测量已经成为天文学观测中的常规部分。

20世纪30年代，天文学家埃德温·哈勃（Edwin Hubble），对红移进行测量，根据计算结果，他得出了一个新的结论。

宇宙比我们之前预期的**大得多**，并且，宇宙并不是爱因斯坦所说的，处于一个稳定的、静止的状态。

※

15年前，年轻的埃德温·哈勃完成了博士论文。论文对模糊的天体**星云**（nebulae，源自拉丁文的“雾”）进行了翔实准确的研究。人们观测到星云已经有数个世纪了，但是，囿于望远镜有限的观测距离，天文学家看不清楚星云的具体位置和准确形态。哈勃利用先进的24英寸反射式望远镜拍摄星云图像；然而，尽管他可以相对精确地描绘出星云的位置，却只能对这一发光云团的性质进行推测。

他的推测与众不同。“也许，”哈勃写道，“我们看见的是一团团的‘星系’。”㊟

直到此时，科学家只知道一个星系的存在——我们的银河系。英语中的“银河系”（Milky Way，字面意思是“牛奶路”）来自希腊人为银河的命名（*kyklos galaktikos*，“牛奶圈”）。自伽利略时期，人们就知道银河中有不计其数的恒星。但是，银河系边界之外有什么（不管它们在哪里）鲜为人知。**星系**也许和**宇宙**一样。

一些天文学家曾做出理论推断，应该还有其他的星系，或者“岛宇宙”在银河系之外漂移，而通过望远镜观测，哈勃则认为星云可能就是这些星系。但是，图像没有说服力，而第一次世界大战中断了他的研究。刚刚拿到博士学位的哈勃便加入了美军，出国作战。

他所在的那一师从未真正上过战场。停战后，他又重新开始天文学研究。这一次，他设法得到了加利福尼亚州的威尔逊山天文台

（Mount Wilson Observatory）的一个职位——这个天文台拥有当时世界上最大的全新的100英寸望远镜。在这里，他第一次**看清了**星云。

1923年，他在星云中发现了一种被称为M31的物质：造父变星（Cepheid），这种恒星按照固定的周期发光或暗淡。天文学家亨利埃塔·莱维特（Henrietta Leavitt，毕业于拉德克利夫学院，是20世纪初为数不多的女性天文学家）和哈露·沙普利（Harlow Shapley，哈勃的死敌；两人在专业领域内是对手，生活中也彼此厌恶）率先提出了一种测量地球到造父变星距离的方法。[注]按照他们的衡量标准，哈勃测量出地球到M31中的造父变星的距离至少为93万光年[注]——这比此前所预测的银河的尺寸大得太多了。

这个数字的意义很明确。要么是银河系超乎想象地巨大，要么是M31星云位于银河系之外。[注]

哈勃在接下来的10年中不断地对星云进行观测，并据此撰写了《星云世界》（*The Realm of the Nebulae*，1937年）。该书呈现了哈勃经过仔细研究和记录后所得到的结论：除了M31，**还有4.4万个其他星系**（“岛宇宙”）分布在整个宇宙中。用天文学家杰伊·巴萨乔夫（Jay Pasachoff）和亚历克斯·菲利彭科（Alex Filippenko）的话说，这是一次哥白尼式的革命。哥白尼提出，地球不过是众多绕着恒星运转的行星中的一颗，这让我们所有人都很震惊；哈勃则提出，银河系“不过是宇宙中存在的不计其数的星系中的一个”。至此为止，我们的星系将不再被认为是**唯一存在**的星系。在自然的宏大体系中，我们的银河系已经是相当小的一部分。[注]

但这还不是哈勃结论中最令人震惊的部分。

“从星云到地球的光，”他在1937年写道，继续使用星云来指星系，“其在光谱上距红端的距离与其与地球的距离成正比。这一现

象……证明星云都在飞速地远离我们的银河系，距离越远，其速度越快。”尽管红移不能证实爱因斯坦的广义相对论（直到1959年，才得到了**可复现**的实验证据），但是揭示了另一个出人意料的现象。那4.4万个星系都在**移动**——根据它们光谱的红移，哈勃才得以对其进行测量。注

通过精确地观测，哈勃得出了宇宙扩张的公式：哈勃常数（$H_0$）与星系距离（$D$）的乘积就是星系的退行速度（$V$）：

$$V = H_0 \times D$$

换句话说，星系距离地球越远，它后退的速度就越大。注

“这个解释，”哈勃写道，“将红移解释为多普勒效应的表现，也就是说，速度的变化显示出了后退的实际情况。”他还谨慎地补充说，有必要进行更进一步的研究：

> 星云红移……在很大程度上（是）一次全新的发现，因此，以实验为基础，暂且将它们诠释为我们熟悉的“速度变化”，这是非常可取的做法。临界试验至少在理论上是可能的，因为到地球距离相同的星云中，快速退行的星云比静止的星云要黯淡一些……对红移的解释（因此）至少有一部分是在实证研究的范围内。注

换句话说，这与量子物理学家所做的科学研究不同；红移是可观测的，并且随着望远镜技术的提高，天文学家可以观测到更加**清晰**的红移。经证明，“岛宇宙”在宇宙中漂移。

那么，更理论性一点的问题是，**为什么呢**?

在这个问题上，哈勃更加谨慎了。“对宇宙的探索止于不确定性，”他在《星云世界》中断言，“（离地球）越远，我们知道的就越少，并且是急剧减少。最终，我们就到了模糊的界限——望远镜所能观测到的极限。在那里，我们测量虚幻之物，并在错误的测量结果中试图寻找一个里程碑，但这个里程碑也不会有多牢固的。但他仍旧试探性地坚持一种解释：星系之所以移动，是因为宇宙本身在膨胀。[注]

这一理论并非哈勃原创。1922年，年轻的俄国物理学家兼数学家亚历山大·弗里德曼（Alexander Friedmann）提出，根据爱因斯坦的广义相对论，宇宙应该是在规律性地扩张着。[注]三年后，研究未竟的弗里德曼死于伤寒；但是，1927年，比利时天文学家乔治·勒梅特（Georges Lemaître）也得到了相同的结论。

爱因斯坦仔细阅读了两人的论文，但是并没有被说服。他认为，对于一个含有有限数量的物质的、**静止的**、不变的宇宙而言，他的理论是最合理的。如果宇宙看起来是无限的，那不过是由于时空弯曲造成的错觉。（“你的计算是正确的，”他在给勒梅特的信中写道，“但是你的物理学观点太差劲了。”）[注]

如今，科学家们首次发现了直观的、与该问题相关的证据。爱因斯坦到威尔逊天文台与哈勃见面，并复查了哈勃得到的结果。他从100英寸的望远镜望向宇宙空间——这让他改变了观点。“远方星云的红移，如同一把锤头，彻底粉碎了我的旧理论。”爱因斯坦在加利福尼亚的一次报告中对场下观众说道。[注]

到20世纪30年代末，大多数天文学家和物理学家都同意爱因斯坦的观点：宇宙不是静止的，而是在不断扩张。这也将会影响到宇宙过去的形态。勒梅特根据自己的计算逻辑倒推出一个结论，如果宇宙正在不断地外扩，那么，它一定曾在某时非常地小。实际上，回溯该过

程遥远的**起点**，一定有一个“零”时刻；这时，宇宙中的一切物质都紧紧地压缩成了一个点。

现有的物理学定律无法对这个点做出解释，也无法预测出其未来的行动，更无法理解它曾经**是什么**。因此，勒梅特借用了一个数学术语：它是一个**奇点**（*singularity*），在这里，我们所知道的主宰世界的法则都失效了。㊟

这个解释跟没有解释没有什么区别：勒梅特遇到了无法解释宇宙的地步，结果只是给这一空白点起了个名字，用来取代无法解释的情形。1931年，他试图借量子理论填补这个空缺。他在《自然》杂志中写道：

> 如果世界开始时是单一一个量子，那么，宇宙之初，时空概念都会失去意义；只有当最初的量子开始分裂并达到足够的数量时，时空概念才会开始有一些合理的意义。如果这个提议是正确的，那么世界比时空开始得更早一些。㊟

这抛弃了类似“魔法师帽子中的兔子”的奇点，但是勒梅特的量子是一种“原始的原子”，它包含了目前宇宙中的所有物质，并通过自身的外扩**产生了**时空。但是对这个量子的解释也不会简单多少。“要完全理解这个观点是很困难的。”勒梅特略带歉意地补充道。

但他这么说只是刻意的轻描淡写，而且奇点也不是需要解决的唯一问题。如果宇宙在不断地外扩（并且已经外扩了相当长的一段时间），那么宇宙的核心不是应该**越来越稀薄**吗？由于所有的星系都一直在退行，并最终远离银河系而消失在我们眼前，那么，在遥远的未来，观察者会不会发现自己正位于一个空荡荡的宇宙的中央？

1948年，出生于约克郡的天文学家弗莱德·霍伊尔（Fred Hoyle）解决了“日益稀薄的宇宙”的问题，同时也否定了勒梅特的原始原子的观点。他认为，100亿年后，理论上，观察者所能看到的星系就跟我们今天所见到的一样多，因为

> 有一些星系不断远离，离开了我们目之所及的宇宙范围，为了弥补这些星系的缺失，本来处于压缩状态的新的星系同时也在以相同的速度从背景物质中释放出来。起初，我们也许会认为这一过程不会无限地进行下去，因为构成宇宙背景的物质最终会被耗尽。但至今仍未被耗尽的原因是新的物质不断出现，弥补了背景物质中不断形成星系的那一部分……我发现，我不得不做出这样的假设：宇宙的本质就是不断地创造——永久地、持续地形成新的背景物质。注

霍伊尔认为这一“不断地创造”模型比勒梅特的解释更加科学。“认为宇宙万物皆源于亘古时发生的一次宇宙大爆炸的假设……（是）与观察到的情形产生要求相矛盾的，”1949年，他在一个听众众多的无线电节目中坚持说，“大爆炸的假设是……一个不合理的过程，是无法用科学术语来表述的。”注

霍伊尔——他当时34岁；4年前，他在学术界得到了第一份工作，任剑桥大学天体物理学教授——在修辞方面也很有天赋。勒梅特原始原子假说的支持者们随即反驳，指出霍伊尔所提出的扩张既不大（事实上，开始时是**非常小**的），也不是一场爆炸（没有爆炸，只有宇宙稳步地不断扩张）。但是“宇宙大爆炸”（Big Bang）这个术语已在人们心里扎了根。

1950年，霍伊尔出版了《宇宙的本质》（*The Nature of the Universe*），并在该书中介绍了自己的“不断创造”理论，这是一本很棒的书，非常有趣。书中提供了一种合乎逻辑的理论来代替宇宙大爆

炸：宇宙不是从一个奇点或一个（仍旧没有被定义的）量子中出现的，而是一直处于一种“稳定的状态”。宇宙没有起点，也就不会有终点；数量很小的物质（每立方英里只有几个原子）不断地生成；宇宙的扩张以及新物质的创造将会永久持续下去。[注]

很明显，这一理论也有其困境。但是，正如霍伊尔本人所指出的，与勒梅特假说所面临的困境相比，这一理论所面临的困境算不上毁灭性的。霍伊尔的假设——物质是逐渐被创造出来的——并不比勒梅特的假设——**一切**物质都是一下子出现的——的可能性低。

《宇宙的本质》一书不仅吸引了大量的普通读者，也得到了来自科学界的广泛支持。越来越多的物理学家和天文学家都站在了原始原子理论一边，但仍旧只是微弱多数。这两种提议都可以解释某种现象，又都无法对其他现象做出解释；并且，二者最终都从一只看不见的帽子中出人意料地扯出了一只兔子。物质**径直地出现**，说不出是以何种方式。

但是，认为宇宙处于稳态的理论有一个明显优势：这一理论不否认过去所有已知的物理学原理。



在没有足够证据的情况下，原始原子理论支持者和稳态论支持者都不可避免地诉诸形而上学：他们对宇宙起源和首要原理的辩驳缺乏史料引证。

尽管如此，他们仍在继续寻找有效的证据。在《宇宙的本质》将稳态论公之于众的两年前，俄国物理学家乔治·盖莫夫——“宇宙大爆炸”的笃信者——与他人合作撰写了一篇简短却备受好评的学术论文；论文提出，要对我们目之所及的宇宙中化学元素的分布做出解释，只能依赖于如下观点：宇宙确实是从一个原始的、致密炽热的奇点开始

不断地**外扩**形成的。随即，与盖莫夫一同撰写论文的一位年轻人拉尔夫·阿尔佛（Ralph Alpher）对结论做了更进一步的延伸，并提出，随着致密的奇点的不断扩展，其所带有的大量热量本应消散。注但是一部分的热量仍旧在宇宙中辐射——残余的微波辐射，它一直留在宇宙的背景物质中，是“原始火球”（一位后世研究者如此命名，明显是从盖莫夫华丽的修辞中学到的）可探测的遗留物。注

宇宙背景的噪音会变成一种特殊**形式**的辐射，它可能位于“普朗克光谱”上；它的性质也许仅仅取决于温度，电磁射线也许是各向同性的（不管什么方向都相同），并且不是由某一特定**个体**辐射出来的。一个一直处于稳定状态的系统是无法产生这种辐射的。

即便这样的系统真的存在的话。

宇宙基底辐射一直都停留在理论阶段，直到15年后《宇宙的本质》的面世，这一状况才改变。1965年，普林斯顿天体物理学家罗伯特·迪克（Robert Dicke）和他的团队正在试图制造一个足够灵敏的接收器，以便捕捉到宇宙背景辐射；与此同时，30英里之外，两位在贝尔实验室中工作的物理学家，阿尔诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）和罗伯特·威尔逊，则不断地用他们使用的最先进的微波天线捕捉到一种无法解释的静电。普林斯顿大学的科学家和贝尔实验室的科学家因为一个共同的纽带而联系起来（偶然的），共同对静电展开分析。这一光谱与盖莫夫所说的宇宙中残余的辐射吻合；正如盖莫夫理论所指出的，它是各向同性的；它是天平上的第一颗小石子，使得宇宙论证理论的天平向大爆炸理论倾斜。注

随后几年，科学家们对宇宙背景辐射进行了多次测量，并得到大量的数据，这些数据证实了宇宙基底辐射的存在，核实了其温度并查明了其光谱。稳态论迅速衰败，比第一缕晨光还要短暂。“我一直注意到，”那时刚刚获得第一个科学学位的著名物理学家兼天文学家伍德鲁

夫·苏里凡（Woodruff Sullivan）说道，“在20世纪60年代，对大多数天文学家来说，稳态论都消亡了……原因是一次偶然的发现……稳态论的对立理论一直鲜为人知，且据其所做的预言也一直得不到重视，但是这一对立理论的完善是导致稳态论消亡的原因。”注

弗莱德·霍伊尔坚持捍卫自己的稳态论。宇宙背景辐射的存在让他对恼人的奇点感到不安，这个奇点横冲直撞，粗暴地扰乱了所有通过观察得出的物理学定律。弗莱德·霍伊尔并不是单打独斗。丹尼斯·夏玛（Dennis Sciama）是马里兰大学的物理系主任，1967年，他也对宇宙背景辐射的存在表示遗憾。“我必须要补充一句，”他对一屋子的研究生说，“对我来说，稳态论的失败是件令人非常难过的事。稳态论有力量，有美感；宇宙创造者的疏忽导致很多事情都无法解释，但稳态论可以给出答案。宇宙实际上是一个粗制滥造的产品，但我觉得我们必须要好好利用它。”注

到20世纪60年代末，物理学家和天文学家已经全部转变了观点（除了霍伊尔；25年后，他仍旧在完善稳态论，以使其合理有效）。宇宙大爆炸理论胜利了：但实际上它既不大，也不是一场爆炸；这一理论稳固地立于宇宙的发端，拒不遵守宇宙的法则。

公众又过了几年才完全接受了这一理论。毕竟，理解宇宙背景辐射并不是一件简单的事情。只有高度专业的仪器才能捕捉到它，也只有最高级的、最高深的数学才能对它做出解释。很难知道它为何存在。稳态论一直以来都是非常具有说服力的，至少在一定程度上是如此，因为霍伊尔能够用适当的形式呈现该理论。而宇宙是自一个致密炽热的奇点膨胀起来的理论也需要这样一个能干的宣传者。

1977年，这个人出现了：史蒂文·温伯格，他住在纽约，是一位理论物理学家；两年后，他获得了诺贝尔奖。在撰写《宇宙最初三分钟》的同时，温伯格也对宇宙背景辐射展开密集的、高度专业化的研

究工作。不过他成功地从当初的一个学术观点转移到了另一个广为接受的观点。同霍伊尔一样，他天生擅长使用隐喻（“如果某个莽撞的巨人将太阳前后摇晃，那么，在地球上的我们要等八分钟才能感觉到其影响，这八分钟就是光波以光速从太阳到地球所需的时间”），此外，他还可以将早期宇宙科学改写成吸引人的故事。《宇宙最初三分钟》清晰地展示了宇宙扩张的背景信息，贯穿不同扩张理论（包括稳态论）的历史发展，并阐释了宇宙背景辐射的必要性。

这本书不仅是第一部被公众广为阅读的大爆炸理论读物，也是一剂催化剂：随后10年里，专门为外行读者所写的关于宇宙学和理论物理学的书籍爆炸式地出现了。读者对关于宇宙起源的故事胃口大开；首先是温伯格引起了他们的兴趣，后来，为满足读者需求，许多其他作家也加入其中［约翰·格里宾（John Gribbin）的《大爆炸探秘——量子物理与宇宙学》（*In Search of the Big Bang: Quantum Physics and Cosmology*），海因茨·帕格尔斯（Heinz Pagels）的《完美的对称——探秘时间起源》（*Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*），杰姆斯·特拉菲尔（James Trefil）的《创造时刻——自第一毫秒至今的大爆炸物理学》（*The Moment of Creation: Big Bang Physics from Before the First Millisecond to the Present Universe*）以及许多其他学者的作品］，这些作品为斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）的《时间简史》（*A Brief History of Time*）开辟了道路；《时间简史》一书借着这股狂热的浪潮，销量遥遥领先。［“这肯定不可能是又一本关于大爆炸的书吧。”物理学家保罗·戴维斯（Paul Davies）仍旧记得他第一次看到霍金的作品时，内心涌出了这样的想法。］注

尽管《宇宙最初三分钟》是一部开拓性巨著，它仍旧免不了也有着其他关于宇宙起源的书所具有的不足。该书要求读者在理解宇宙起源时，要先抛弃自己原来信奉的理论；并且，该书也不可避免地引起读者对宇宙终点的推测。

“宇宙的起源——即第一个百分之一秒——始终存在令人难堪的模糊性。”温伯格在导言中写道。随后一章阐述了第一个时间碎片中发生的事情，但也没能阐述得更清楚：

> 借助大量纯推测性理论，我们能够无限向前追溯，推测出宇宙的历史一定曾有一个无限致密的时刻。但我们对此并不满意。我们自然想知道，在这一刻之前发生了什么，在宇宙开始膨胀和冷却之前发生了什么……我们也许不得不接受绝对零时的观点——绝对零时是过去的一个时刻，从理论上讲，我们无法推知之前的事情的因果。[注]

培根主义科学有其局限性，但又不愿意承认自身的局限性。温伯格承认，大爆炸理论的某些方面无法解释，但与此同时，该理论又在努力克服这些方面。“令人难堪的”意味着他**本应**能解答所有问题（培根本人会赞同此说）。它对不确定性的容忍度很低。

因此，即使是最终落脚在推测上，《宇宙最初三分钟》的结尾也是非常确定的。温伯格写道，如果不存在霍伊尔所谓的不断产生的物质，那么宇宙最终一定会停止膨胀；它要么就是简单地停止膨胀，逐渐降温、暗淡，进入一种寒冷黑暗之中，要么就是要“经历一次宇宙‘弹跳’然后重新开始膨胀……我们可以想象，向过去无限地延展，宇宙就是在膨胀与收缩之间无限循环，没有任何的开始点”。

接下来，温伯格进一步的阐释也并没有采用形而上学的方法。他写道：

> 这一解释似乎并不能带来多大的安慰，人类不可避免地认为自己与宇宙之间有某种特殊的联系，认为人之生命不会仅仅是可以追溯到宇宙最初三分钟发生的一系列事件的荒唐产物……宇宙越是显得容易被理解，也就显得越没有意义。[注]

从奇点探讨到意义是不可避免的，也是不科学的。慰藉和绝望都是彻底的非培根主义哲学。

虽然《宇宙最初三分钟》以一则古代创世神话［来自古代斯堪的纳维亚的神话《埃达》（*Edda*）］与温伯格所阐述的现代科学故事的对比开篇，但这两个故事实际上惊人地相似。温伯格的起源故事终结于一次构想出来的世界毁灭以及（在书的**最后**）关于人类目标的寓意：

> 如果我们无法从研究成果中得到慰藉，至少研究本身可以让我们感到宽慰。人类不满足于神和巨人的神话故事所带来的安逸，也不满足于将自己的思维局限在生活琐事中；他们制作望远镜、卫星和加速器，并终其一生分析所得到的数据的意义。只有为数不多的几件事能将人的生命升华，使其比一次荒唐事件显得更高尚一些；人类理解宇宙的努力就是其中之一，这努力还赋予人的生命一种悲剧式的荣耀。(注)

温伯格从物理学问题自然过渡到了对人生目的的探讨：人生的目的就在于颂扬科学并永远追求科学。培根主义哲学的研究囿于自我，永无休止；它始于通过实验研究可被证实的客体，但后来转而寻求永远不可能被找到的真理。

极度执着的读者们可以阅读……

埃德温·哈勃

《星云世界》

（1937年）

1983年，《新科学家》（*New Scientist*）的回顾性书评对哈勃这本书的难点进行了总结，书评写道：“这是一本为大众读者撰写的严肃而系统的著作。”随后总结道，“有人提议说在天文学博士的面试环节，第一个问题应该是‘你读过《星云世界》吗？’”准确来说，书评中提到的是两类不同的读者；可见，哈勃的行文从平易通俗转向了专业高深。尽管如此，高水平的读者还是能够找到足够的兴趣，克服重重困难，阅读耶鲁大学出版社的再版本。

Edwin Hubble, *The Realm of the Nebulae* (Silliman Memorial Lectures Series), Yale University Press (paperback reprint edition, 2013, ISBN 978- 0300187120).

埃德温 ·哈勃，《星云世界》（西利曼纪念讲座系列），耶鲁大学出版社（平装再版本，2013年，ISBN 978-0300187120）。

其他读者可以阅读……

弗莱德·霍伊尔

《宇宙的本质》

（1950年）

霍伊尔向我们证明，简明易懂的写作方式也可以使科学的声音听起来具有权威性。《宇宙的本质》一书已经绝版，但1960年哈珀图书出版的精装版印刷本的二手书很容易找到。该书最重要的章节收录在合集《宇宙的理论——从巴比伦王国迷思到现代科学》，主编弥尔顿·K.穆尼茨（Free Press，1965年）。

Fred Hoyle, *The Nature of the Universe*, Harper Collins (hardcover, 1960, ISBN 978-0060028206).

弗莱德·霍伊尔，《宇宙的本质》，哈珀柯林斯出版社（精装，1960年，ISBN 978-0060028206）。

史蒂文·温伯格

《宇宙最初三分钟——关于宇宙起源的现代观点》

（1977年）

这一经典文本从未绝版过，由基础读物出版社出版，其第二次更新版添加了新的前言，后来又增添了一篇后记（1993）。

Steven Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, Basic Books (paperback and e-book, 1993, ISBN 978-0465024377).

史蒂文·温伯格，《宇宙最初三分钟——关于宇宙起源的现代观点》，基础读物出版社（平装，电子书，1993年，ISBN 978-0465024377）。

1. 随后几年，他的估算结果虽然引起了其他物理学家的争议，但最终还是站稳了脚跟。

2. 参见本书第25章。

3. 测量出地球到任一星体的距离听起来简单，实则不然。天体测量技术的历史发展过程相当有趣，但与本文主题无关（因此不予讨论）；更翔实、通俗的阐释可以参见基蒂·弗格森（Kitty Ferguson）的《测量宇宙——自古以来对描绘时空图景的探索》（*Measuring the Universe: Our Historic Quest to Chart the Horizons of Space and Time*，沃克出版社，1999年）。

4. 爱因斯坦认为光速是恒定的，因此一光年（光传播一儒略年——365.25天——的距离）经计算为9 460 730 472 580.8千米。

5. 更翔实的阐释以及相关方程式参见赫尔奇·克拉夫（Helge Kragh），《宇宙学与争议——两条宇宙理论的历史发展》（*Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*，普林斯顿大学出版社，1996年）一书的前两个章节第3页之后的部分。

6. 盖莫夫1952年撰写的《宇宙的创生》（*The Creation of the Universe*）提供了更为翔实、通俗的阐述。这本书针对的读者是那些有知识的门外汉。2012年，多佛出版社出版了该书的再版电子书。

7. .Robert Bless, *Discovering the Cosmos* (University Science Books, 1996), 527; Jeffrey Crelinsten, *Einstein’s Jury: The Race to Test Relativity* (Princeton University Press, 2006), 48, 177–78; John Earman, Michel Janssen, and J.D.Norton, eds., *The Attraction of Gravitation: New Studies in the History of General Relativity* (Center for Einstein Studies, 1993), 161–63.

8. .Robert William Smith, *The Expanding Universe: Astronomy’s“Great Debate,” 1900–1931* (Cambridge University Press, 1982), 112–13; Jay M.Pasachoff and Alex Filippenko, *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium*, 4th ed.(Cambridge University Press, 2014), 414; David Levy, ed., *The Scientific American Book of the Cosmos* (St.Martin’s Press, 2000), 60.

9. .Levy, *Scientific American Book*, 100; Giora Shaviv, *The Synthesis of the Elements: The Astrophysical Quest for Nucleosynthesis and What It Can Tell Us about the Universe* (Springer, 2012), 211–13.

10. .Pasachoff and Filippenko, *Cosmos*, 416; William McCrea, “Astronomical Achievements Out of This Galaxy,” *New Scientist* 98, no.1354 (April 21, 1983): 174.

11. .Edwin Hubble, *The Realm of the Nebulae* (Yale University Press, 1982), 21; Michio Kaku, *Einstein’s Cosmos: How Albert Einstein’s Vision Transformed Our Understanding of Space and Time* (W.W.Norton, 2004), 209.

12. .Kenneth R.Lang, *Astrophysical Formulae*, vol.2, *Space, Time, Matter and Cosmology*, 3rd ed.(Springer, 2006), 107.

13. .Hubble, *Realm of the Nebulae*, 122.

14. .Ibid., 201–2.

15. .Kaku, *Einstein’s Cosmos*, 123–35; Helge Kragh, *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe* (Princeton University Press, 1996), 29–31; David Topper, *How Einstein Created Relativity Out of Physics and Astronomy* (Springer, 2012), 168.

16. .Kragh, *Cosmology and Controversy*, 34; Topper, *How Einstein Created Relativity*, 174.

17. .Robert M.Wald, *General Relativity* (University of Chicago Press, 1984),

18. .Harlow Shapley, ed., *Source Book in Astronomy, 1900–1950* (Harvard University Press, 1960), 363.

19. .Milton K.Munitz, ed., *Theories of the Universe: From Babylonian Myth to Modern Science* (Free Press, 1957), 425.The quote is actually from Hoyle’s 1950 popularization of his 1948 scientific paper.

20. .Simon Mitton, *Fred Hoyle: A Life in Science* (Cambridge University Press, 2011), 128–29.

21. .Topper, *How Einstein Created Relativity*, 180.

22. .Mitton, *Fred Hoyle*, 116; Ralph A.Alpher and Robert Herman, “‘Big-Bang’ Cosmology and Cosmic Blackbody Radiation,” in *Modern Cosmology in Retrospect*, ed.B.Bertotti et al. (Cambridge University Press, 1990), 147.

23. .Charles Seife, *Alpha and Omega: The Search for the Beginning and End of the Universe* (Penguin, 2004), 47; N.Mandolesi and N.Vittorio, eds., *The Cosmic Microwave Background: 25 Years Later* (Kluwer Academic, 1990), 20–24.

24. .Bertotti et al., *Modern Cosmology in Retrospect*, 344.

25. .Frank Durham and Robert D.Purrington, *Frame of the Universe* (Columbia University Press, 1983), 208.

26. .Elizabeth Leane, *Reading Popular Physics: Disciplinary Skirmishes and Textual Strategies* (Ashgate, 2007), 35.

27. .Steven Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, 2nd ed.(Basic Books, 1993), 8, 149.

28. .Ibid., 153.

29. .Leane, *Reading Popular Physics*, 18; Weinberg, *First Three Minutes*, 154–55.

# 28
# 蝴蝶效应

## 复杂的系统以及我们（目前）理解的限制

混沌一出现，经典科学就结束了。

——詹姆斯·格雷克（James Gleick），

《混沌》（*Chaos*，1987年）

日益高深精妙的宇宙研究如今绝大部分情况下是在最高层次——方程式——上进行。即便是对于那些熟练掌握微积分的读者而言，前沿的理论也是很难的；对于那些没有微积分基础的读者来说就更是高深莫测了。

这一理论将外行拒之门外，这就给那些理论普及者和作家极大的动力去将学术性短文改写成令人信服的故事。沃尔特·阿尔瓦雷茨（Walter Alvarez）是一位擅长措辞的地质学家；道金斯、E.O.威尔逊和古尔德是擅长写作的生物学家；史蒂文·温伯格和埃尔温·薛定锷则是理论普及者兼物理学家。

但是在物理学中——尤其是物理学的**宇宙学**分支，即对整个宇宙及其运作的思考——20世纪最后一次重大的范式转移是由一位英语文学专业的作者带来的。

※

即便是在量子力学和奇点的年代，牛顿的原理依旧存在。

一方面是因为牛顿定律完美地**适用于**现实世界。饼干掉到地上了，牛顿定律就能告诉你饼干会落到哪个位置。乘上一辆时速72英里的火车，牛顿可以告诉你这列火车与某个方向来的、向你加速靠近的货车相遇的准确时间。乘坐波音747飞机从华盛顿特区起飞，牛顿可以告诉你飞机在巴黎着陆的准确时间（只要空中交通管制人员配合）。

19世纪时，法国数学家兼天文学家皮埃尔-西蒙·拉普拉斯[注]认为，牛顿定律源于现实的情况，因此可以预测出未来可能发生的一切。这种决定论——宇宙的现状“完全决定了它的未来”——使得拉普拉斯得出了一个结论，即一种无所不知、洞察一切但受时间限制的生命，能够极其准确地预测出未来。

> 这一智慧生命知道某一刻所有自然运动的力，知道组成自然的万物位于何地；如果这一智慧的视野足够广阔，它还可以对这些数据进行分析，将宇宙从最大天体到最小原子的运动规律归结到一个简单的公式里；对这样的智者来说，没有事物会是含糊的，未来也会像过去般清晰地呈现在他面前。[注]

这一理论上的智慧存在被称为“拉普拉斯妖”（“妖”在此语境中，指的是“一种假设的存在”，而非“恶魔”）。拉普拉斯妖不仅可以看见自然宇宙中的各种力，并随时确定它们的所在，还可以迅速地处理数字信息，并推测这些力未来的去向。对拉普拉斯妖而言，时间是一个不相关的因素；因为不管是顺时前进或逆时而退，宇宙从未发生改变。理论上说，拉普拉斯妖也可以计算过去，且与计算将来一样准确。

但这可能并不像拉普拉斯所说的那样简单，首次提出这一看法的科学家是另一位法国人——数学家兼物理学家亨利·庞加莱，他于1910年前后提出了这一观点。庞加莱一直在研究那些看似相当简单的系统，却得到了出乎意料的结果。即便是对看似很简单的力的研究，他

也**无法**始终预测出准确的结果；他认为，原因就在于最初条件发生了细微的变化，而这种变化太细微，所以不易被察觉。他归结出了一条理论："最初条件的细微改变可能会导致最终结果的巨大不同。""当初的毫厘之差会导致后来的千里之谬。因此预测是不可能的。"

半个世纪以来，没人对这个观点进一步探讨过。

※

20世纪60年代时，拉普拉斯妖真的出现了，至少在一定程度上且处于萌芽形式：电脑。电脑虽然不能理解自然的各种力，但可以对大量数据进行快速处理——这是人脑做不到的。

1961年，美国数学家爱德华·劳伦兹（Edward Lorenz）正在研究天气。他一直都对各种天气模式很感兴趣；而大多数数学家都对此不屑一顾，他们认为要了解天气无异于异想天开。利用全新的计算机技术，他编写了代码，将各种因素（风距和风速、气压、温度等）考虑在内，利用它们来预测天气类型。

某个晚上，劳伦兹键入了代表这些因素的数据，电脑程序便乖乖地预测出了一个天气类型。劳伦兹决定要验算一下预测的天气类型。他再次键入因素数据，但是为了节省时间，他输入时只是精确到了小数点后第三位，而不是到小数点后第六位（他第一次输入时是这么做的）。

这本该不会对结果造成任何差别，因为从第四位小数开始，风速或温度的改变绝对是微乎其微的——事实上，几乎就没有改变。但是，让劳伦兹震惊的是，得到的天气类型开始偏离最初的结果……并最终完全偏离。数据处理完成后，该程序生成了另一个完全**不同**的天气类型。1963年，劳伦兹发表了一篇论文，文中按时间顺序整理了这

些结果。“决定性的非周期流。”他写道。或许，天气系统对初始条件的细小变化非常敏感，因此任何细小的变化**都会**带来迥异的结果。(注)

在电脑被发明出来以前或是在电脑拥有快速处理大量数据的能力之前，人们几乎是不可能计算出这种对极其细微条件改变的敏感度的。但是现在，劳伦兹的论文引起了其他数学家的高度关注，他们也开始用电脑来解决这种“非线性方程组”。(注) 1972年，劳伦兹又续写了另一篇论文，题为“可预测性——巴西一只蝴蝶翅膀的振动能否引起美国得克萨斯州的一场龙卷风？”（“Predictability: Does the Flap of a Butterfly’s Wings in Brazil Set off a Tornado in Texas?”）这是蝴蝶翅膀首次被用来类比初始的细微变化，也是“蝴蝶效应”这一术语的首次应用。(注)

1975年，两位数学家李天岩（Tien-Yien Li）和詹姆斯·A.约克（James A.Yorke）发表了一篇关于非线性方程式及其不可预测的结果的论文，这是首次对这种不可预知性命名。他们称其为“混沌”：大多数英语读者都能感受到这一词语中含有的巨大力量；即使是在1975年，人们仍旧知道这个词在《圣经》中的用法：完全无定形，完全混乱，完全无序。(注)

但这并不是数学意义上的混沌。在这里**混沌**只是意味着“不可预知性”——而不是那种彻底的、根本的不可预知性（不是指“不管我们知道多少，我们都不能预知最终结果”），它是一种非本质的、**客观的**不可预知性。（“这个系统对初始条件的细微变化太敏感了，因此我们目前无法精准地分析初始条件，并预测所有可能的结果。”）

第二年，在数学方面很有天赋的生物学家罗伯特·梅（Robert May）发表了一篇论文，文中给混沌理论起了一个更为实际却不怎么吸引眼球的名字：“包含复杂动力学的简单数学模型”（“Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics”）。论文中，梅

延展了“混沌”系统的应用，不仅仅局限于天气，而应用于一种更为具体的东西：比如昆虫种群，他认为某个群体中昆虫数量如果发生了**明显的**随机波动，我们可以认为这种现象与那些初始条件是相关联的。

梅之后，对于混沌理论的研究及其在不同领域（物理学、化学、生物化学、生物学）中的应用也加速发展起来。但是当詹姆斯·格雷克——《纽约时报杂志》（*New York Times Magazine*）的专栏作家、自由撰稿人兼科学记者——将混沌理论作为他的处女做选题时，这一理论仍旧停留在其早期的未成熟阶段。

《混沌学传奇》（*Chaos: Making a New Science*）一书（就像《雷克斯和末日火山口》、《双螺旋》或者《人的不可测量》）有着精悍的标题、优美的行文以及大量生动的隐喻。像《雷克斯和末日火山口》［这本书直接被翻拍成了电影《天地大冲撞》和《世界末日》（*Armageddon*）］或者宇宙大爆炸一样，混沌理论激发了大众的想象。“蝴蝶效应”成了家喻户晓的术语。杰夫·戈德布拉姆（Jeff Goldblum）曾在电影《侏罗纪公园》（*Jurassic Park*）中扮演一位摇滚歌星式的科学家，影片中他向全世界的观众简要传达了这一理论：“它就是指在复杂的系统中的可预知性……蝴蝶在北京扇动翅膀，就会导致美国中央公园由晴转雨……细微的变化……它们不会重现，并会对结果产生极大的影响。这就是不可预知性。”

“混沌”一词其实是具有误导性的，对于那些只看到理论没看到方程式的读者而言尤为如是。“混沌一出现，经典科学就结束了。”格雷克用简明清晰的笔触写道（其作品不愧为畅销书）。但就其核心而言，混沌理论可以算得上是牛顿式的理论。拉普拉斯妖凭借其掌握的广博的知识以及无限的计算能力，理论上还可以追踪那只蝴蝶扇动翅膀所带来的空气流动是如何一路到了多雨的中央公园。

我们无法预测出复杂系统的结果，并非因为它们不可预测，而是因为我们如今还无法深入洞悉那些促成它们的因素。但是，在混沌理论方面我们一直深怀希望——不论这希望是合乎情理还是异想天开——我们希望日后可以揭开谜团。

詹姆斯·格雷克

《混沌学传奇》

（1987年）

读者可以找到格雷克1987年原稿的二手书；2008年出版的第二版稍有一些修订更新。

James Gleick, *Chaos: Making a New Science*, Viking (hardcover and paperback, 1987, ISBN 978-0670811786).

詹姆斯·格雷克，《混沌学传奇》，维京出版社（精装，平装，1987年，ISBN 978-0670811786）。

James Gleick, *Chaos: Making a New Science*, Penguin Books (paperback and e-book, 2008, ISBN 978-0143113454).

詹姆斯·格雷克，《混沌学传奇》，企鹅系列丛书（平装，电子书，2008年，ISBN 978-0143113454）。

1. 见本书第25章。
2. 并非所有非线性方程式的解都是如此混乱，只有“非线性方程式”大类下的一个小的分支才是如此。
3. .Pierre-Simon Laplace, quoted in Leonard Smith, *Chaos: A Very Short Introduction* (Oxford University Press, 2007), 2.
4. .H.R.Shaw, *Craters, Cosmos, and Chronicles: A New Theory of Earth* (Stanford University Press, 1995), 387; William E.Doll et al., eds., *Chaos, Complexity, Curriculum, and*

*Culture: A Conversation* (Peter Lang, 2008), 135–37, 154.

5. .Doll et al., *Chaos, Complexity*, 154–55.

6. .Danette Paul, “Spreading Chaos: The Role of Popularizations in the Diffusion of Scientific Ideas,” *Written Communication* 21, no.1 (January 2004): 37–38; Doll et al., *Chaos, Complexity*, 155.

7. .Doll et al., *Chaos, Complexity*, 155.

# 参考文献

Agutter, Paul S., and Denys N.Wheatley.*Thinking about Life: The History and Philosophy of Biology and Other Sciences*.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2008.

Allen, Elizabeth, Barbara Beckwith, Jon Beckwith, Steven Chorover, David Culver, Margaret Duncan, Steven Gould, et al.“Against ‘Sociobiology.’” *New York Review of Books* 22, no.18 (November 13, 1975), http://www.nybooks.com/articles/archives/1975/nov/13/against-sociobiology.

Allen, John Eliot, Marjorie Burns, and Scott Burns.*Cataclysms on the Columbia: The Great Missoula Floods*, 2nd rev.ed.Portland, OR: Ooligan Press, 2009.

Alpher, Ralph A., and Robert Herman, “Early Work on ‘Big-Bang’ Cosmology and Cosmic Blackbody Radiation.”In *Modern Cosmology in Retrospect*.Edited by B.Bertotti, R.Balbinot, S.Bergia, and A.Messina.Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

Alvarez, Luis W., Walter Alvarez, Frank Asaro, and Helen V.Michel.“Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction.” Science 208, no.4448 (June 6, 1980): 1095–1108.

Alvarez, Walter.*T.rex and the Crater of Doom*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 2008.

*Annual Register of World Events: A Review of the Year* 113 (1872).

Arabatzis, Theodore.*Representing Electrons: A Biographical Approach to Theoretical Entities*.Chicago: University of Chicago Press, 2006.

Archimedes.“The Sand-Reckoner.”In *The Works of Archimedes*.Translated by Thomas.L.Heath.Cambridge: Cambridge University Press, 1897.

Aristotle.*The History of Animals*.Translated by Richard Cresswell.London: Henry G.Bohn, 1862.

—.*The Metaphysics*.Translated by William David Ross.In *The Works of Aristotle*, vol.3.Franklin Center, PA: Franklin Library, 1982.

—.*Politics*.Translated by Ernest Barker.Oxford World’s Classics.Oxford: Oxford University Press, 1988.

Atkins, Peter.*Galileo’s Finger: The Ten Great Ideas of Science*.Oxford: Oxford University Press, 2004.

Axtell, James L.“Locke, Newton and the Two Cultures.”In *John Locke: Problems and Perspectives*.Edited by John W.Yolton.Cambridge: Cambridge University Press, 1969.

Bacon, Francis.*The Philosophical Works of Francis Bacon in Five Volumes*, vol.4.Edited by James Spedding.London: Longman, 1861.

Badash, Lawrence.“The Age-of-the-Earth Debate.” Scientific American 261, no.2 (August 1989).

Bainbridge, David.*The X in Sex: How the X Chromosome Controls Our Lives*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 2003.

Baker, Victor R.“The Spokane Flood Debates: Historical Background and Philosophical Perspective.”In *History of Geomorphology and Quaternary Geology*.Edited by R.H.Grapes, D.R.Oldroyd, and A.Grigelis.London: Geological Society of London, 2008.

Barlow, Connie, ed.*From Gaia to Selfish Genes: Selected Writings in the Life Sciences*.Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

Barnes, Jonathan, ed.*The Cambridge Companion to Aristotle*.Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

—.*Early Greek Philosophy*, rev.ed.New York: Penguin, 2002.

Bauer, Susan Wise.*The History of the Renaissance World*.New York: W.W.Norton, 2013.

Bendann, Effie.*Death Customs: An Analytical Study of Burial Rites*.New York: Routledge, 2010.

Berkeley, George.*De motu: Sive de motus principio & natura et de causa communicationis motuum*.Translated by A.A.Luce.London: Jacob Tonson, 1721.

Birch, Thomas.*The History of the Royal Society of London*, vol.1.London: A.Millar, 1756.

—.*The History of the Royal Society of London*, vol.3.London: A.Millar, 1757.

Bless, Robert.*Discovering the Cosmos*.Sausalito, CA: University Science Books, 1996.

Bourriau, Janine.*Understanding Catastrophe: Its Impact on Life on Earth*.Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Bowen, Catherine Drinker.*Francis Bacon: The Temper of a Man*.Boston: Little, Brown, 1963.

Boyle, Robert.*A Free Enquiry into the Vulgarly Received Notion of Nature*.Edited by Edward B.Davis and Michael Hunter.Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

—.*The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle*, vols.2 and 3.London: W.& J.Innys, 1725.

—.*The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle in Six Volumes*, vol.1.London: J.& F.Rivington, 1772.

—.*The Sceptical Chymist*.New York: Dover, 2003.

Buckland, William.*Vindiciae geologicae: or, The Connexion of Geology with Religion Explained*.Oxford: Oxford University Press, 1820.

Buffon, Georges-Louis Leclerc, Comte de.*Natural History, General and Particular*, 2nd ed., vol.1.Translated by William Smellie.London: W.Strahan and T.Cadell, 1785.

Cassell, John.*Cassell's History of England*, vol.5.London: Cassell, Petter, Gal-pin, 1884.

Chiras, Daniel D.*Human Biology*.Sudbury, MA: Jones & Bartlett, 2013.

Cohen, Claudine.*The Fate of the Mammoth: Fossils, Myth, and History*.Translated by William Rodarmor.Chicago: University of Chicago Press, 2002.

Cohen, H.Floris.*How Modern Science Came into the World: Four Civilizations, One 17th-Century Breakthrough*.Amsterdam: Amsterdam University Press, 2010.

Cohen, I.Bernard.*Revolution in Science*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1985.

Cohen, S.Marc, Patricia Curd, and C.D.C.Reeve, eds.*Readings in Ancient Greek Philosophy: From Thales to Aristotle*, 4th ed.Indianapolis, IN: Hackett, 2011.

Conrad, Lawrence I., Michael Neve, Vivian Nutton, Roy Porter, and Andrew Wear.*The Western Medical Tradition: 800 B.C.–1800 A.D.* Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

Copernicus, Nicolaus.*On the Revolutions of the Heavenly Spheres*.Translated by Charles Glenn Wallis.Amherst, NY: Prometheus Books, 1995.

—.*Three Copernican Treatises*.Translated by Edward Rosen.New York: Dover, 1959.

Corcos, Alain F., and Floyd V.Monaghan.*Gregor Mendel's Experiments on Plant Hybrids: A Guided Study*.New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, 1993.

Coyne, George, and Michael Heller.*A Comprehensible Universe*.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2008.

Crelinsten, Jeffrey.*Einstein's Jury: The Race to Test Relativity*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 2006.

Crick, Francis.*What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery*.New York: Basic Books, 2008.

Crook, David Paul.*Darwinism, War and History: The Debate over the Biology of War from the"Origin of Species" to the First World War*.Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

Cuvier, Georges."Biographical Memoir of M.de Lamarck." Edinburgh New Philosophical Journal 20 (October 1835–April 1836): 1–21.

Dalrymple, G.Brent.*The Age of the Earth*.Stanford, CA: Stanford University Press, 1991.

Dampier, William Cecil, and Margaret Dampier, eds.*Cambridge Readings in the Literature of Science; Being Extracts from the Writings of Men of Science to Illustrate the Development of Scientific Thought*.Cambridge: Cambridge University Press, 1928.

Darwin, Charles.*Charles Darwin: His Life Told in an Autobiographical Chapter, and in a Selected Series of His Published Letters*.Edited by Francis Darwin.London: John Murray, 1908.

—.*Charles Darwin's Beagle Diary*.Edited by R.D.Keynes.Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

—.*Notebook B:* [Transmutation of Species (1837–1838)] *CUL-DAR121*.Transcribed by Kees Rookmaaker.Darwin Online, http://darwin-online.org.uk, accessed May 2014.

—.*On Evolution: The Development of the Theory of Natural Selection*.Edited by Thomas F.Glick and David Kohn.Indianapolis, IN: Hackett, 1996.

—.*The Origin of Species,* chap.2.Hertfordshire, England: Wordsworth Classics, 1998.

—.*The Variation of Animals and Plants under Domestication,* vol.2.London:

D.Appleton, 1897.Dawkins, Richard.*The Selfish Gene*.Oxford: Oxford University Press, 1976.

Dean, Dennis R.*James Hutton and the History of Geology*.Ithaca, University Press, 1992.

Deb, Kalyanmoy, ed.*Genetic and Evolutionary Computation*.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2004.

Deming, David.*Science and Technology in World History,* vol.3.Jefferson, NC: McFarland, 2010.

Devlin, Keith.*The Language of Mathematics: Making the Invisible Visible*.New York: W.H.Freeman, 2000.

Doll, William E., M.Jayne Fleener, Donna Trueit, and John St.Julien, eds.*Chaos, Complexity, Curriculum, and Culture: A Conversation*.New York: Peter Lang, 2005.

Drake, Stillman.*Galileo at Work: His Scientific Biography*.New York: Dover, 1978.

Dronamraju, Krishna R.*If I Am to Be Remembered: The Life and Work of Julian Huxley with Selected Correspondence*.River Edge, NJ: World Scientific, 1993.

Durham, Frank, and Robert D.Purrington.*Frame of the Universe*.New York: Columbia University Press, 1983.

Earman, John, Michel Janssen, and J.D.Norton, eds.*The Attraction of Gravitation: New Studies in the History of General Relativity*.Boston: Center for Einstein Studies, 1993.

Egerton, Frank N., III.“Darwin’s Early Reading of Lamarck.”*Isis* 67, no.3 (September 1976): 452–56.

Eicher, Don L., and Arcie Lee McAlester.*The History of the Earth*.Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1980.

Einstein, Albert.*Relativity: The Special and General Theory*.Translated by Robert W.Lawson.New York: Pi Press, 2005.

Einstein, Albert, and Leopold Infeld.*The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta*.Cambridge: Cambridge University Press, 1938.

Epicurus.*Letters and Sayings of Epicurus*.Translated by Odysseus Makridis.New York: Barnes & Noble, 2005.

Epstein, Isidore, ed.*Hebrew-English Edition of the Babylonian Talmud: Yebamoth*.London: Soncino Press, 1984.

Espinasse, Margaret.*Robert Hooke*.Berkeley: University of California Press, 1962.

Euclid.*The Thirteen Books of the Elements*, 2nd ed.Translated by Thomas L.Heath.Cambridge: Cambridge University Press, 1908.

Eysenck, Hans.J.*Intelligence: A New Look*.New Brunswick, NJ: Transaction, 2000.

Fahie, John Joseph.*Galileo: His Life and Work*.London: J.Murray, 1903.

Ferguson, Kitty.*Measuring the Universe: Our Historic Quest to Chart the Horizons of Space and Time*.New York: Walker, 1999.

Ferris, Timothy.“It Came from Outer Space.”*New York Times*, May 25, 1997.https://www.nytimes.com/books/97/05/25/reviews/970525.25ferrist.html.

Finocchiaro, Maurice A.*Defending Copernicus and Galileo: Critical Reasoning in the Two Affairs*.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2010.

Frank, Steven A.“The Price Equation, Fisher’s Fundamental Theorem, Kin Selection, and Causal Analysis.”*Evolution* 51, no.6 (August 1997): 1712–29.

Freedberg, David.*The Eye of the Lynx: Galileo, His Friends, and the Beginnings of Natural History*.Chicago: University of Chicago Press, 2002.

Galilei, Galileo.*Dialogue concerning the Two Chief World Systems, Ptolemaic and Copernican*.Translated by Stillman Drake.Edited by Stephen Jay Gould.New York: Modern Library, 2001.

Galilei, Galileo, and Maurice A.Finocchiaro.*The Essential Galileo*.Indianapolis, IN: Hackett, 2008.

Galison, Peter, Michael Gordin, and David Kaiser, eds.*Science and Society: The History of Modern Physical Science in the Twentieth Century*.New York: Rout-ledge, 2001.

Gaustad, Edwin Scott, and Mark A.Noll, eds.*A Documentary History of Religion in America since 1877*, 3rd ed.Grand Rapids, MI: Wm.B.Eerdmans, 2003.

Gee, Henry.*In Search of Deep Time: Beyond the Fossil Record to a New History of Life*.Ithaca, NY: Cornell University Press, 2001.

Gilder, Joshua, and Anne-Lee Gilder.*Heavenly Intrigue: Johannes Kepler, Tycho Brahe, and the Murder behind One of History's Greatest Scientific Discoveries*.New York: Random House, 2004.

Gillespie, John H.*Population Genetics: A Concise Guide*, 2nd ed.Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2010.

Gillispie, Charles Coulston.*Pierre-Simon Laplace, 1749–1827: A Life in Exact Science*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.

Gottlieb, Anthony.*The Dream of Reason: A History of Philosophy from the Greeks to the Renaissance*.New York: W.W.Norton, 2000.

Gould, Stephen Jay.*The Mismeasure of Man*, rev.and exp.ed.New York: W.W.Norton, 1996.

—.*The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould*.Edited by Steven Rose.New York: W.W.Norton, 2007.

Gouyon, Pierre-Henri, Jean-Pierre Henry, and Jacques Arnold.*Gene Avatars: The Neo-Darwinian Theory of Evolution*.Dordrecht, Netherlands:

Kluwer, 2002.

Gower, Barry.*Scientific Method: A Historical and Philosophical Introduction*.New York: Routledge, 1997.

Grafen, Alan, and Mark Ridley, eds.*Richard Dawkins: How a Scientist Changed the Way We Think*.Oxford: Oxford University Press, 2007.

Grant, Edward.*A Source Book in Medieval Science*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974.

Grattan-Guinness, I., ed.*Companion Encyclopedia of the History & Philosophy of the Mathematical Sciences*.New York: Routledge, 1994.

Gray, Jeremy.*Plato's Ghost: The Modernist Transformation of Mathematics*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 2008.

Gribbin, John.*Erwin Schrödinger and the Quantum Revolution*.New York: John Wiley & Sons, 2013.

—.*The Scientists: A History of Science Told through the Lives of Its Greatest Inventors*.New York: Random House, 2003.

Guicciardini, Niccolo.*Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*.Cambridge, MA: MIT Press, 2009.

Gurley, LaVerne Tolley, and William J.Callaway.*Introduction to Radiologic Technology*, 7th ed.St.Louis: Mosby, 2011.

Guthrie, Kenneth S., and David R.Fideler.*The Pythagorean Sourcebook and Library: An Anthology of Ancient Writings Which Relate to*

*Pythagoras and Pythagorean Philosophy*.Newburyport, MA: Phanes Press, 1987.

Hall, Marie Boas.*Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*.Cambridge: Cambridge University Press, 1958.

Hankins, Thomas L., and Robert J.Silverman.*Instruments and the Imagination*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 1995.

Harrison, Edward.*Cosmology: The Science of the Universe*, 2nd ed.Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

Hausmann, Rudolf.*To Grasp the Essence of Life: A History of Molecular Biology*.Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, 2002.

Hetherington, Norriss S.*Cosmology: Historical, Literary, Philosophical, Religious, and Scientific Perspectives*.New York: CRC Press, 1993.

Hippocrates.*The Corpus: Hippocratic Writings*.Translated by Conrad Fischer.New York: Kaplan, 2008.

—.*On Ancient Medicine*.Translated by Mark J.Schiefsky.Leiden, Netherlands: Brill, 2005.

Hirshfeld, Alan W.*Parallax: The Race to Measure the Cosmos*.Boston: Birkhäuser, 2000.

Hodge, M.J.S.“Lamarck’s Science of Living Bodies.”*British Journal for the History of Science* 5, no.4 (December 1971): 323–52.

Hooke, Robert.*Micrographia*.London: James Allestry, 1664.

Hubble, Edwin.*The Realm of the Nebulae*.New Haven, CT: Yale University Press, 1982.

Huffman, Carl.*Archytas of Tarentum: Pythagorean, Philosopher and Mathematician King*.Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

Hugget, Nick, ed.*Space from Zeno to Einstein: Classic Readings with a Contemporary Commentary*.Boston: Bradford Books, 1999.

Huggins, William.*The Scientific Papers of Sir William Huggins*.London: W.Wesley and Son, 1909.

Hunter, Michael.*Establishing the New Science: The Experience of the Early Royal Society*.Suffolk, England: Boydell Press, 1989.

—, ed.*Robert Boyle Reconsidered*.Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

Hutton, Charles, George Shaw, and Richard Pearson.*The Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol.2.London: C.& R.Baldwin, 1809.

Hutton, James.“Theory of the Earth.”*Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 1 (1788): 209–304.

Huxley, Julian.*Evolution: The Modern Synthesis*, definitive ed.Cambridge, MA: MIT Press, 2010.

Huxley, T.H., and Leonard Huxley.*Life and Letters of Thomas Henry Huxley*, vol.1.London: D.Appleton, 1900.

Iverson, Kristin.*Full Body Burden*.New York: Crown, 2012.

Jaeger, Mary.*Archimedes and the Roman Imagination*.Ann Arbor: University of Michigan Press, 2008.

James, Ioan.*Remarkable Physicists: From Galileo to Yukawa*.Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

Johns, Adrian.“Reading and Experiment in the Early Royal Society.”In *Reading, Society, and Politics in Early Modern England*.Edited by Kevin Sharpe and Stephen Zwicker.Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

*Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instruments* 6, no.6 (August 1922).

Jowett, Benjamin.*The Dialogues of Plato in Four Volumes*, vol.2.New York: Charles Scribner’s Sons, 1892.

—.*The Dialogues of Plato in Four Volumes*, vol.4.New York: Hearst’s International Library Co., 1914.

Kaku, Michio.*Einstein’s Cosmos: How Albert Einstein’s Vision Transformed Our Understanding of Space and Time*.New York: W.W.Norton, 2004.

—.*Hyperspace: A Scientific Odyssey through Parallel Universes, Time Wars, and the 10th Dimension*.Oxford: Oxford University Press, 1994.

Kendig, Keith.*Sink or Float: Thought Problems in Math and Physics*.Washington, DC: Mathematical Association of Virginia, 2008.

Kirkpatrick, Larry, and Gregory Francis.*Physics: A World View*.Belmont, CA: Thomson, 2007.

Klarsfeld, André, and Frédéric Revah.*The Biology of Death: Origins of Mortality*.Translated by Lydia Brady.Ithaca, NY: Cornell University Press, 2004.

Klaver, J.M.I.*Geology and Religious Sentiment: The Effect of Geological Discoveries on English Society and Literature between 1829–1859*.Leiden, Netherlands: Brill, 1997.

Kotz, John C., Paul M.Treichel, and John Townsend.*Chemistry and Chemical Reactivity*.Independence, KY: Cengage Learning, 2009.

Kragh, Helge.*Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996.

Krige, John, and Dominique Pestre, eds.*Science in the Twentieth Century*.New York: Routledge, 2013.

Kuhn, Thomas S.*The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957.

Lamarck, J.B.*Zoological Philosophy: An Exposition with Regard to the Natural History of Animals*.Translated by Hugh Elliot.London: Macmillan, 1914.

Lang, Kenneth R.*Astrophysical Formulae*.Vol.2, *Space, Time, Matter and Cosmology*, 3rd ed.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2006.

Larson, Ron, and Bruce Edwards.*Calculus*.Independence, KY: Cengage Learning, 2013.

Lawrence, David M.*Upheaval from the Abyss: Ocean Floor Mapping and the Earth Science Revolution*.New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, 2002.

Leane, Elizabeth.*Reading Popular Physics: Disciplinary Skirmishes and Textual Strategies*.Surrey, England: Ashgate, 2007.

Le Grand, H.E.*Drifitng Continents and Shifting Theories*.Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

Levere, Trevor H.*Transforming Matter: A History of Chemistry from Alchemy to the Buckyball*.Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001.

Leverington, David.*Babylon to Voyager and Beyond: A History of Planetary Astronomy*.Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

Levy, David, ed.*The Scientific American Book of the Cosmos*.New York: St.Martin's Press, 2000.

Lewis, C.L.E., and S.J.Knell.*The Making of the Geological Society of London*.London: Geological Society Publishing House, 2009.

Lewis, Cherry.*The Dating Game: One Man's Search for the Age of the Earth*.Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

Lindberg, David C.*The Beginnings of Western Science*, 2nd ed.Chicago: University of Chicago Press, 2007.

Linton, C.M.*From Eudoxus to Einstein: A History of Mathematical Astronomy*.Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

Longair, M.S.*Theoretical Concepts in Physics: An Alternative View of Theoretical Reasoning in Physics*, 2nd ed.Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

Longrigg, James.*Greek Rational Medicine: Philosophy and Medicine from Alcmaeon to the Alexandrians*.New York: Routledge, 1993.

Lucretius.*On the Nature of the Universe*, rev.sub.ed.Translated by Ronald E.Latham.New York: Penguin Classics, 1994.

—.*On the Nature of the Universe*.Translated by Ronald Melville.Oxford: Oxford University Press, 1997.

Lucretius Carus, Titus.*On the Nature of Things*.Translated by John Selby Watson.London: Henry G.Bohn, 1851.

Lyell, Charles.*Life, Letters, and Journals of Sir Charles Lyell, Bart*., vol.1.Edited by Katharine M.Lyell.London: John Murray, 1881.

Machamer, Peter, ed.*The Cambridge Companion to Galileo*.Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

Magner, Lois N.*A History of the Life Sciences*, 3rd ed.New York: Marcel Dekker, 2002.

Maillet, Benoît de.*Telliamed, or, The World Explain'd*.Baltimore: W.Pechin, 1797.

Malthus, T.R.*Population: The First Essay*.Ann Arbor: University of Michigan Press, 1959.

Mandolesi, N., and N.Vittorio, eds.*The Cosmic Microwave Background: 25 Years Later*.Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, 1990.

Mankiewicz, Richard.*The Story of Mathematics*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.

Maor, Eli.*To Infinity and Beyond: A Cultural History of the Infinite*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 1991.

Mathez, Edmund A., and James D.Webster.*The Earth Machine: The Science of a Dynamic Planet*.New York: Columbia University Press, 2004.

Mayr, Ernst.*The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.

—.“Lamarck Revisited.”*Journal of the History of Biology* 5, no.1 (Spring 1972): 55–94.

Mayr, Ernst, and William B.Provine.*The Evolutionary Synthesis: Perspectives on the Unification of Biology*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1998.

McCrea, William.“Astronomical Achievements Out of This Galaxy.”*New Scientist* 98, no.1354 (April 21, 1983): 174.

McElhinny, Michael W., and Phillip L.McFadden.*Paleomagnetism: Continents and Oceans*.New York: Academic Press, 2000.

Mendel, Gregor.*Experiments in Plant Hybridisation*.New York: Cosimo Classics, 2008.

Mensch, Jennifer.*Kant's Organicism: Epigenesis and the Development of Critical Philosophy*.Chicago: University of Chicago Press, 2013.

Mitton, Simon.*Fred Hoyle: A Life in Science*.Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

Moore, J.A.*Heredity and Development*, 2nd ed.Oxford: Oxford University Press, 1972.

Moore, Walter J.*A Life of Erwin Schrödinger*.Cambridge: University of Cambridge Press, 1994.

—.*Schrödinger: Life and Thought*.Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Muller, Hermann Joseph.*The Modern Concept of Nature*.Albany, NY: SUNY Press, 1973.

Munitz, Milton K., ed.*Theories of the Universe: From Babylonian Myth to Modern Science*.New York: Free Press, 1957.

Naddaf, Gerard.*The Greek Concept of Nature*.Albany, NY: SUNY Press, 1995.

Napier, Macvey.*Lord Bacon and Sir Walter Raleigh*.New York: Macmillan, 1853.

Needham, Joseph, ed.*The Chemistry of Life: Eight Lectures on the History of Biochemistry*.Cambridge: Cambridge University Press, 1970.

Newton, Isaac.*Mathematical Principles of Natural Philosophy*.Translated by Andrew Motte.London: Daniel Adee, 1848.

—.*Newton: Philosophical Writings*.Edited by Andrew Janiak.Cambridge: University of Cambridge Press, 2004.

—.*The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*.Translated byworks I.Bernard Cohen and Anne Whitman.Berkeley: University of California Press, 1999.

Olby, Robert C., G.N.Cantor, J.R.R.Christie, and M.J.S.Hodge, eds.*Companion to the History of Modern Science*.New York: Routledge, 1990.

O'Malley, Charles Donald.*Andreas Vesalius of Brussels, 1514–1564*.Berkeley: University of California Press, 1964.

Oreskes, Naomi.*The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*.Oxford: Oxford University Press, 1999.

O'Rouke, J.E.“A Comparison of James Hutton's Principles of Knowledge and Theory of the Earth.”*Isis* 69, no.1 (March 1978): 4–20.

Osler, Margaret J.*Reconfiguring the World: Nature, God, and Human Understanding from the Middle Ages to Early Modern Europe*.Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2010.

Ostdiek, Vern, and Donald Bord.*Inquiry into Physics*.Independence, KY: Cengage Learning, 2007.

Packard, A.S.*Lamarck, the Founder of Evolution: His Life and Work*.London: Longmans, Green, 1901.

Palmer, Trevor.*Perilous Planet Earth: Catastrophes and Catastrophism through the Ages*.Cambridge: Cambridge University Press,

2003.

Panchanathan, Karthik.“George Price, the Price Equation, and Cultural Group Selection.”*Evolution and Human Behavior* 32, no.5 (September 2011): 368–71.

Parker, Robert.*On Greek Religion*.Ithaca, NY: Cornell University Press, 2011.

Partington, James Riddick.*A Short History of Chemistry*, 3rd ed.New York: Dover, 2011.

Pasachoff, Jay M., and Alex Filippenko.*The Cosmos: Astronomy in the New Millennium*, 4th ed.Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

Paul, Danette.“Spreading Chaos: The Role of Popularizations in the Diffusion of Scientific Ideas.”*Written Communication* 21, no.1 (January 2004): 32–68.

Pausanius.*Pausanias’s Description of Greece*, vol.3.Translated by J.G.Frazer.London: Macmillan, 1898.

Pearl, Raymond.“Biology and War.”*Journal of the Washington Academy of Sciences* 8, no.11 (June 4, 1918): 341–60.

Placher, William C.*A History of Christian Theology: An Introduction*.Louisville, KY: John Knox Press, 1983.

Planck, Max.*The Origin and Development of the Quantum Theory*.Translated by H.T.Clarke and L.Silberstein.Oxford: Clarendon Press, 1922.

Plato, *Plato's Timaeus: Translation, Glossary, Appendices, and Introductory Essay*.Translated by Peter Kalkavage.Newburyport, MA: Focus, 2001.

—.*Protagoras*.Translated by Benjamin Jowett.Rockville, MD: Serenity, 2009.

—.*The Republic: The Complete and Unabridged Jowett Translation*.New York: Vintage, 1991.

Playfair, John.*The Works of John Playfair, Esq*., vol.4.London: Archibald Constable, 1822.

Porter, Roy.*The Cambridge Illustrated History of Medicine*.Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

Power, D'Arcy.*Masters of Medicine: William Harvey*.London: T.Fisher Unwin, 1897.

Principe, Lawrence."In Retrospect: The Sceptical Chymist."*Nature* 469 (January 6, 2011): 30–31.

Prioreschi, Plinio.*A History of Medicine*.Vol.1, *Primitive and Ancient Medicine*, 2nd ed.Omaha, NE: Horatius Press, 1996.

Purrington, Robert D.*The First Professional Scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London*.Basel, Switzerland: Birkhäuser, 2009.

Purves, William, David Sadava, Gordon H.Orians, and H.Craig Heller.*Life: The Science of Biology*, 7th ed.Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2004.

Reader, John.*Missing Links: In Search of Human Origins*.Oxford: Oxford University Press, 2011.

Reeve, Eric C.R., ed.*Encyclopedia of Genetics*.New York: Routledge, 2014.

Repcheck, Jack.*Copernicus' Secret: How the Scientific Revolution Began*.New York: Simon & Schuster, 2007.

—.*The Man Who Found Time: James Hutton and the Discovery of Earth's Antiquity*.Cambridge, MA: Perseus, 2003.

Rice, T.J.*Joyce, Chaos, and Complexity*.Urbana: University of Illinois Press, 1997.

Richards, Richard A.*The Species Problem: A Philosophical Analysis*.Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

Richards, Robert J.*Darwin and the Emergence of Evolutionary Theories of Mind and Behavior*.Chicago: University of Chicago Press, 1987.

Ridley, Matt.*The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature*.New York: Harper Perennial, 2003.

Rigden, John S.*Einstein 1905: The Standard of Greatness*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 2005.

Rochberg, Francesca.*The Heavenly Writing: Divination, Horoscopy, and Astronomy in Mesopotamian Culture*.Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

Roger, Jacques.*Buffon: A Life in Natural History*.Translated by Sarah Lucille Bonnefoi.Ithaca, NY: Cornell University Press, 1997.

Roller, Duane W., ed.and trans.*Eratosthenes' Geography*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 2010.

Rose, Michael R.*Darwin's Spectre: Evolutionary Biology in the Modern World*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998.

Rosenberg, Gary D., ed.*The Revolution in Geology from the Renaissance to the Enlightenment*.Boulder, CO: Geological Society of America, 2010.

Rosenblum, Bruce, and Fred Kuttner.*Quantum Enigma: Physics Encounters Consciousness*, 2nd ed.Oxford: Oxford University Press, 2011.

Rosenfeld, Albert."The New Man: What Will He Be Like?"*Life* 59, no.14 (October 1, 1965): 94–111.

Rosenfield, Israel, Edward Ziff, and Borin Van Loon.*DNA: A Graphic Guide to the Molecule That Shook the World*.New York: Columbia University Press, 2011.

Rudwick, Martin J.S.*Bursting the Limits of Time: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*.Chicago: University of Chicago Press, 2005.

—.*Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations & Interpretations of the Primary Texts*.Chicago: University of Chicago Press, 1997.

—.*The Meaning of Fossils: Episodes in the History of Palaeontology*, 2nd ed.Chicago: University of Chicago Press, 1985.

Ruse, Michael.*The Darwinian Revolution: Science Red in Tooth and Claw*, 2nd ed.Chicago: University of Chicago Press, 1999.

Ruse, Michael, and Joseph Travis, eds.*Evolution: The First Four Billion Years*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 2009.

Rutherford, Ernest.*The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson*, vol.2.New York: Interscience, 1963.

—.*Radioactive Transformations*.New Haven, CT: Yale University Press, 1906.

Rutherford, Ernest, James Chadwick, and Charles Drummond Ellis.*Radiations from Radioactive Substances*.Cambridge: Cambridge University Press, 1930.

Santillana, Giorgio de.*The Crime of Galileo*.Chicago: University of Chicago Press, 1955.

Sapp, Jan.*Genesis: The Evolution of Biology*.Oxford: Oxford University Press, 2003.

Sarton, George.*A History of Science: Ancient Science through the Golden Age of Greece*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1964.

Schrödinger, Erwin.“The Present Situation in Quantum Mechanics.”Translated by John D.Trimmer.*Proceedings of the American Philosophical Society*, November 29, 1935, 323–38.

Schwann, Theodor.*Microscopical Researches into the Accordance in the Structure and Growth of Animals and Plants*.Translated by Henry Smith.London: Sydenham Society, 1847.

Seife, Charles.*Alpha and Omega: The Search for the Beginning and End of the Universe*.New York: Penguin, 2004.

—.*Zero: The Biography of a Dangerous Idea*.New York: Viking, 2000.

Selleri, Franco.*Quantum Paradoxes and Physical Reality: Fundamental Theories of Physics*.Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, 1990.

Shapley, Harlow, ed.*Source Book in Astronomy, 1900–1950*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1960.

Shaviv, Giora.*The Synthesis of the Elements: The Astrophysical Quest for Nucleosynthesis and What It Can Tell Us about the Universe*.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2012.

Shaw, H.R.*Craters, Cosmos, and Chronicles: A New Theory of Earth*.Stanford, CA: Stanford University Press, 1995.

Simmons, John G.*Doctors and Discoveries: Lives That Created Today's Medicine*.Boston: Houghton Mifflin, 2002.

Singer, Charles, and C.Rabin.*A Prelude to Modern Science*.Cambridge: Cambridge University Press, 1946.

Smith, Leonard.*Chaos: A Very Short Introduction*.Oxford: Oxford University Press, 2007.

Smith, Robert William.*The Expanding Universe: Astronomy's"Great Debate," 1900–1931*.Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

Smocovitis, Vassiliki Betty.*Unifying Biology: The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology*.Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996.

Spadafora, David.*The Idea of Progress in Eighteenth-Century Britain*.New Haven, CT: Yale University Press, 1990.

Stanford, P.Kyle.*Exceeding Our Grasp: Science, History, and the Problem of Unconceived Alternatives*.Oxford: Oxford University Press, 2006.

Stewart, Ian.*In Pursuit of the Unknown: 17 Equations That Changed the World*.New York: Basic Books, 2012.

Stiebing, William H.*Ancient Astronauts, Cosmic Collisions and Other Popular Theories*.Buffalo, NY: Prometheus Books, 1984.

Strickberger, Monroe W.*Evolution*, 3rd ed.Sudbury, MA: Jones & Bartlett, 2000.

Talwar, G.P., and L.M.Srivastava, eds.*Textbook of Biochemistry and Human Biology*, 3rd ed.Delhi: Prentice-Hall of India, 2003.

Taylor, C.C.W.*The Atomists, Leucippus and Democritus: Fragments*.Toronto: University of Toronto Press, 1999.

Thomson, James Oliver.*History of Ancient Geography*.New York: Biblo & Tannen, 1965.

Thorndike, Lynn.*A History of Magic and Experimental Science*, vol.5.New York: Columbia University Press, 1941.

Tocqueville, Alexis de.*Democracy in America*, vol.1.London: D.Appleton, 1899.

Topper, David.*How Einstein Created Relativity Out of Physics and Astronomy*.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2012.

Trudeau, Richard J.*The Non-Euclidean Revolution*.Boston: Birkhäuser, 1987.

Ts'o, Paul O.P., ed.*Basic Principles in Nucleic Acid Chemistry*, vol.1.New York: Academic Press, 1974.

Tudge, Colin.*Engineer in the Garden*.New York: Random House, 1993.

Ussher, James.*Annals of the World*.London: E.Tyler, 1658.

Vai, Gian Battista, and W.G.E.Caldwell, eds.*The Origins of Geology in Italy*.Boulder, CO: Geological Society of America, 2006.

Valleriani, Matteo.*Galileo Engineer*.Dordrecht, Netherlands: Springer, 2010.

Van Helden, Albert.*Measuring the Universe: Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley*.Chicago: University of Chicago Press, 1985.

Van Hise, Charles R."The Problems of Geology."*Journal of Geology* 12, no.7 (1904): 589–616.

Venter, J.Craig.*Life at the Speed of Light: From the Double Helix to the Dawn of Digital Life*.New York: Viking, 2013.

Verbaal, Wim, Yanick Maes, and Jan Papy, eds., *Latinitas perennis*.Vol.1, *The Continuity of Latin Literature*.Leiden, Netherlands: Brill, 2007.

Vickers, Brian, ed.*Francis Bacon: The Major Works*.Oxford: Oxford University Press, 2002.

Vitruvius Pollio.*Vitruvius: The Ten Books on Architecture*.Translated by M.H.Morgan.New York: Dover, 1960.

Voegelin, Eric.*History of Political Ideas*.Vol.6, *Revolution and the New Science*.Columbia: University of Missouri Press, 1998.

Vonk, Jennifer, and Todd K.Shackelford, eds.*The Oxford Handbook of Comparative Evolutionary Psychology*.Oxford: Oxford University Press, 2012.

Wald, Robert M.*General Relativity*.Chicago: University of Chicago Press, 1984.

Wallace, Alfred Russel.*Infinite Tropics: An Alfred Russel Wallace Anthology*.Edited by Andrew Berry.New York: Verso, 2002.

—.*The Wonderful Century: The Age of New Ideas in Science and Invention*.London: Swan Sonnenschein, 1903.

Watson, James D.*The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*.New York: Scribner, 1993.

Webster, Charles, ed.*The Intellectual Revolution of the Seventeenth Century*.New York: Routledge, 2011.

Wegener, Alfred.“The Origin of Continents and Oceans.”*Living Age*, 8th series, vol.26 (April/May/June 1922): 657–61.

—.*The Origin of Continents and Oceans*.Translated by John Biram.New York: Dover, 1966.

Weinberg, Steven.*Dreams of a Final Theory: The Scientist’s Search for the Ultimate Laws of Nature*.New York: Vintage, 1994.

—.*The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, 2nd ed.New York: Basic Books, 1993.

Whiston, William.*A New Theory of the Earth, from Its Original, to the Consummation of All Things*, 5th ed.London: John Whiston, 1737.

Williams, Malcolm.*Science and Social Science: An Introduction*.London: Taylor & Francis, 2002.

Wilson, Edward O.*Letters to a Young Scientist*.New York: Liveright, 2013.

—.*On Human Nature*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 2004.

—.*The Social Conquest of Earth*.New York: W.W.Norton, 2012.

—.*Sociobiology: The New Synthesis*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1975.

Wolpert, Lewis.*The Unnatural Nature of Science*.Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992.